

Energiankulutuksen mittaaminen Viikin koetilan navetasta

Ari-Pekka Vuorentola
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Maatalouden
ympäristötekniologia
2012

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Ari-Pekka Vuorentola			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Energiankulutuksen mittaaminen Viikin koetilan navetasta			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agroteknologia			
Työn laji — Arbetets art — Level Post-gradu-tutkielma		Aika — Datum — Month and year 09.01.2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 61
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli Viikin koetilan navetan energiankulutuksen ja ilmanvaihdon kautta poistuvan energiamäärän mittaaminen, sekä mahdollisten energiansäästökohteiden selvittäminen. Jotta tehostamistoimenpiteet osattaisiin kohdentaa oikein, pitää tietää kuinka paljon ja missä energiaa kuluu.</p> <p>Kirjallisuus-analyysissä selvisi, että merkittävimpiä energiaa kuluttavia kohteita navetoissa olivat ilmanvaihto, lypsy, maidon jäähdytys, veden lämmitys, valaistus, lannanpoisto ja rehunjako. Eniten energiaa navetassa kului pääsääntöisesti ruokintaan ja lypsyyn. Rehunjaon energiankulutus vaihteli välillä 133–650 kWh/vuosi/lehmä. Lypsytyn energiankulutus vaihteli 380–570 kWh/vuosi/lehmä. Lypsytyn sisältyi lypsytapahtuman lisäksi maidon jäähdytys ja maitotankin pesu. Rehunjaon energiankulutusta nosti polttoaineiden käyttö, koska polttoaineella toimivien laitteiden hyötysuhde on huonompi kuin sähkömoottoreiden. Sähköntuotannon energiakustannuksia ei ole otettu huomioon. Viikin navetassa on paljon energiaa kuluttavia kohteita. Koska mittareita oli rajoitettu määrä, oli tarkoitus keskittyä mittaamaan oletettavasti eniten energiaa vievien kohteiden energiankulutusta. Alustavien mittaustulosten perusteella kokonaisenergian mittaaminen osoittautui haastavammaksi kuin alun perin luulin, joten luovuin siitä.</p> <p>Mittauksen piiriin kuului laitteiden sähkönkulutus, lämmitystehon mittaaminen, polttoaineen kulutus sekä ilman kosteus, lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus.</p> <p>Tutkimuskohteena oleva navetta on uudistettu vanha kivinavetta, jossa on parsipihatto. Navetassa on noin 60–70 lehmää, muutama hieho ja 0-30 vasikkaa.</p> <p>Mittalaitteiden yhteinen energiankulutus oli 197475 kWh/vuosi, mikä on 0,267 kWh/maitokilo/vuosi. Eniten energiaa kulutti valaistus. Valaistuksen vuotuinen kulutus oli 56132 kWh. Maitokiloa kohti valaistuksen kulutus oli 0,076 kWh/vuosi ja lehmää kohti 823 kWh/vuosi. Rehunjako kulutti vuodessa yhteensä 42000 kWh. Siinä energiankulutus oli maitokiloa kohti 0,050 kWh/vuosi ja lehmää kohti 615kWh/vuosi. Vuotuinen energiankulutus maitokiloa kohden oli lypsytyn 0,047, lämmityksessä 0,041, lannanpoistossa 0,029 ja ilmanvaihdossa 0,018 kWh/kg. Ilmanvaihdon kautta poistui laskelmieni mukaan 580000 kWh energiaa.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Energiankulutus, navetta, kilowattitunti			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Ohjaajat: Jukka Ahokas ja Mari Rajaniemi			

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Ari-Pekka Vuorentola			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Measuring of energy consumption in the experiment farm of Viikki			
Oppiaine — Läroämne — Subject Agrotegnology			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year 09.01.2013	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 61
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>The aim of this research was to measure energy consumption and energy loss through ventilation in the Viikki research farm, as well as to find possible targets to decrease energy consumption. In order to properly achieve an efficient use of energy it is important to first know how much energy is being used and where.</p> <p>In the literature review I found that the greatest energy consumption comes from ventilation, milking, cooling the milk, warming the water, lightning, taking of the manure and feeding. Previous research has shown that most of the energy is used for feeding and milking. Feeding took 133–650 kWh/year/cow. The energy consumption of milking was 380–570 kWh/year/cow. Milking the cows, cooling the milk and washing up the tank were included in energy consumption of milking. If internal combustion engines are used for feeding the overall energy consumption is higher than when electrical engines are used.</p> <p>To determine energy consumption in the Viikki research farm's barn, measuring devices were installed. Due to the limited number of devices I concentrated on the sources of the highest energy consumption, as was determined from previous research. The reliability of the results from the chosen targets was acceptable, however, measurement of the total consumption of energy of the entire barn was very challenging and its measurement was eventually abandoned.</p> <p>The barn used for this research is an old renovated stone barn where cows are kept unchained. There are 60 to 70 cows, a couple of heifers and 0 to 30 calves in the barn. The total energy consumption of the barn as measured by the devices is 197 475 kWh/year or 0,267 kWh/kg of milk/year. Most of the energy is used for lightning (56 132 kWh per annum) or 0,076 kWh/kg of milk and 823 kWh/cow per annum. Feeding accounted for 42 000 kWh/year or 0,050 kWh/kg/year. The feeding of one cow required 615 kWh a year of energy. The amount of energy used for one kilo of milk was: milking, 0,047; warming 0,041; manure disposal 0,029; and ventilation 0,018 kWh/year. According to my calculations the amount of energy passing through the ventilation system was 580 000 kWh/year.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Energy consumption, barn, kilowatt-hour			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors: Jukka Ahokas ja Mari Rajaniemi			

Sisältö

1 JOHDANTO	6
2 ENERGIANKULUTUKSEN MITTAUKSET LYPSYKARJATILOILLA	7
2.1 Energiankulutus lypsykarjatilalla	8
2.1.1 Lypsyn energiankulutus	11
2.1.2 Ilmanvaihto	13
2.1.3 Lämmitys	13
2.1.4 Lämmin käyttövesi	14
2.1.5 Valaistus	14
2.1.6 Rehunjako	15
2.2 Energiankulutuksen mittaus	17
2.2.1 Sähkö	17
2.2.2 Lämmitys	18
2.2.3 Polttoaine	19
2.3 Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian mittaus	20
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	25
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	26
4.1 Viikin koetilan navetta	26
4.2 Navetan lehmäpuoli	27
4.3 Navetan koneet	27
4.2 Mittauslaitteisto	28
4.2.1 Sähkönkulutuksen mittalaitteisto	28
4.2.2 Lämmityksen mittalaitteet	34
4.2.3 Polttoaineen kulutus	36
4.2.4 Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian määrä	36
4.3. Tiedon keruu	36
5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	36
5.1. Lypsyn energiankulutus	37
5.1.1. Lypsyrobotti	40
5.1.2. Maitotankki	41
5.1.3 Lämminvesivaraaja	42
5.2 Ilmanvaihto	42
5.3 Lämmitys	43
5.4. Lämminvesi	44
5.5. Valaistus	44
5.5. Rehunjako	45
5.6. Lannanpoisto	48
5.7 Ilmanvaihdon kautta poistuva energia	50

5.8 Yhteenveto tuloksista	52
5.9 Tavoitteet	54
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	56
7 KIITOKSET	57
8 LÄHTEET	58
9 LIITTEET	60

1 JOHDANTO

Suomi on hyväksyessään energiapalveludirektiivin sitoutunut vähentämään kokonaisenergiankulutusta 9 %:lla vuoteen 2016 mennessä (energiapalveludirektiivi 2006) ja maataloudenkin velvollisuus on tehostaa toimintaa olemalla mukana energiatehokkuustalkoissa.

Energiaa säästettäessä voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Tekniikan kehittyessä on mahdollista säästää rahaa jos energiankulutuksen alentamista varten tehtävät investoinnit saadaan kohtuullisen hintaisiksi. Energiankulutuksen määrän tietäminen suhteessa tuotettuun tuotteeseen on tärkeää haluttaessa kehittää tuotantoa energiatehokkaaseen suuntaan. Energiaa kulutetaan sekä suoraan että epäsuoraan. Suoraa energiankulutusta ovat navettaan tuotavista energiapanoksista sähkö, lämpö, sekä koneiden polttoaineen kulutus navetan töissä. Epäsuora energiapanos on esimerkiksi rehun tuottamiseen tarvittu energia tai ostovasikan kasvattamiseen käytetty energia ennen tilalle tuontia. Muita epäsuoria energiapanoksia ovat esimerkiksi koneiden korjaus ja huolto.

Tutkimukseni tarkoituksena oli selvittää Viikin koetilan navetan kokonaisenergiankulutusta ja sitä, kuinka energiankulutus jakautuu eri toimiin. Suoran energiankulutuksen mittaaminen tässä navetassa oli haastavaa, koska navetassa tehdään tutkimustyötä ja siellä ei ole ollut käytössä energiankulutuksen mittareita. Sekä sähkön että kaukolämmön kulutus on arvioitu aiemmin vain navetan pinta-alan ja tilavuuden mukaan. Tutkimustani koskevat mittaukset suoritettiin erillisillä sähkön- ja lämmönkulutusmittareilla, jotka asennettiin navettaan. Myös työkoneiden polttoaineen kulutus on otettu huomioon. Polttoainetta kuluu esimerkiksi rehun ja lannan käsittelyssä. Kun mitataan energiatehokkuutta, täytyy mitata navettaan tuleva energia ja navetasta lähtevä energia. Tutkielmassa pitäydytään pelkästään kaukolämmön, sähkön ja polttoaineen suorissa energiapanoksissa, sekä ilmanvaihdoissa poistuvan energian mittauksessa. Tutkimuksessani en ole ottanut huomioon syötettävän rehun energiasisältöä, huolimatta siitä, että se on suora energiapanos. Epäsuoran energian määrä on jätetty laskelmien ulkopuolelle.

Käytän energian käytöstä termiä energiankulutus, vaikka energia ei kulu vaan muuntuu toiseen muotoon, kun sitä käytetään. Uskon, että energiankulutus-termin käyttö helpottaa tekstin lukemista ja ymmärtämistä.

2 ENERGIANKULUTUKSEN MITTAUKSET LYPSEYKARJATILOILLA

Navetoiden energiankulutusta on mitattu melko vähän (esimerkiksi Hörndahl 2007, Kirkkari 2005 ja Nilsson 1985). Mittaustuloksia on verrattu tuotettuun liha- tai maitomäärään. Taulukossa 1 on ruotsalaisessa tutkimuksessa saatuja tuloksia, jossa energiankulutus lehmää kohti oli 930–1540 kWh/vuosi (Hörndahl 2007). Maitokiloa kohti kulutus oli 0,125–0,203 kWh. Tämä tutkimus tehtiin kuudella Tukholman eteläpuolella sijaitsevalla tilalla eli käytännössä Helsingin eteläpuolella, joten aivan suoraan näitä tuloksia ei voi verrata Suomeen. Tutkimuksessa eniten energiaa vieväksi todettiin lypsy ja ruokinta. Ne veivät noin 65–70 % kokonaisenergiankulutuksesta. Maatilalla, jossa oli tornisiilo, oli lehmien maidon tuotanto selvästi muita tiloja alhaisempi. Tästä seurasi suurempi energiankulutus maitolitraa kohden, energiankulutuksen ollessa lehmää kohti kuitenkin pienempi.

Vaikka ilmastomme on kylmempi kuin Ruotsissa, se ei juuri vaikuta lypsyn ja ruokinnan energiankulutukseen, joten käytän tätä tutkimusta vertailukohtana. Muu kulutus (taulukko 1) sisältää veden tuonnin, navetan puhdistuksen, ulkovalaistuksen ja muuta sellaista. Näiden erikseen mittaaminen olisi liian työlästä, joten niiden määrä on saatu vähentämällä kokonaiskulutuksesta muiden mittaustulosten summa. Hörndahl (2007) laski Nilssonin ja Pählströmin (1985) tutkimuksen lukujen avulla muun kulutuksen osuudeksi 1–10 % kokonaiskulutuksesta. Samaisessa tutkimuksessa saatiin sähkön kokonaiskulutukseksi 409–988 kWh lehmäpaikkaa kohti ja 0,06–0,014 kWh maitokiloa kohti.

Taulukko 1. Energiankulutus eteläruotsalaisilla maitotiloilla (Hörndahl 2009).

	150 lehmää	220 lehmää	120 lehmää	146 lehmää
Toiminto	Lypsyasema	Lypsyasema	Robotti	Robotti/ lypsyasema
	Laakasiilo	Laakasiilo	Tornisiilo	Laakasiilo
	kWh/lehmä/v	kWh/lehmä/v	kWh/lehmä/v	kWh/lehmä/v
Ruokinta	652	370	133	480
Ilmanvaihto	3	74	1	80
Lannanpoisto	40	31	27	22
Valaistus	216	224	109	227
Lypsy	386	406	572	487
muu kulutus	216	145	87	224
Kulutus yht.	1513	1250	929	1512
Sähkön kulutus	868	994	929	1060
Kok. kulutus				
kWh/litra maitoa	0.148	0.141	0.203	0.125

Suomalaisessa tutkimuksessa (Ahokas ym. 2012) arvioitiin suorien ja epäsuorien energiapanosten merkitystä maatalan energiankulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöihin. Tutkimuksessa todettiin epäsuorien energiapanosten laskemisen tai arvioimisen olevan ongelmallista. Epäsuoria energiapanoksia tulee monista lähteistä ja ne ovat yksittäiseltä arvoltaan pieniä. Pienen arvonsa vuoksi niitä on pidetty aikaisemmissa laskelmissa vähempiarvoisena eikä niiden arvioimiseen ole paneuduttu. Riippuen tilan rakenteesta ja konekannasta, voi epäsuorissa energiapanoksissa olla tilakohtaisesti suuriakin eroja. Rajaamalla tutkimukseni koskemaan vain navettaan tulevaa ja sieltä lähtevää energiaa, sain tutkimukseeni liittyvien muuttujien ja epäsuorien energiapanosten määrän vähenemään.

2.1 Energiankulutus lypsykarjatilalla

Navetassa energiankulutus jakautuu eri kohteisiin. Merkittävimpiä näistä ovat Ilmanvaihto, lypsy, maidon jäähdytys, veden lämmitys, valaistus, lannanpoisto ja rehunjako (Hörndahl 2007). Tuloksissa esitetään kuinka paljon energiaa navetassa kuluu lehmäpaikkaa ja maitokiloa kohden. Taulukoissa 2 ja 3 on Työtehoseuran teettämän kyselytutkimuksen tuloksia, joiden mukaan eteläsuomalaisen lypsykarjatilalla navetan energiankulutus on keskimäärin 5500

kWh/lehmäpaikka/vuosi, josta sähkön kulutus on keskimäärin 1530 kWh/lehmäpaikka/vuosi sekä 0,16 kWh/kilo maitoa. (TTS 2009, ref. Virtanen ym 2005).

Taulukko 2. Suomalaisen karjatilän sähkönkulutuskeskiarvoja (TTS 2009, ref. Virtanen ym 2005).

Tilat	Sähkönkäyttö vuositasolla MWh/v	Sähkö/ maitokilo kWh/kg kWh/kg (er)	Sähkö/ lypsylehmä kWh/lehmä kWh/lehmä (er)	Sähkö/ nautayksikkö kWh/ nautayks. kWh/nautayks. (er)	Sähkö/ lämmin rak-m ² kWh/m ² kWh/m ² (er)
Lypsytilat	99	0,18	1691	1029	79
Lypsytilat er		0,16	1530	968	97
lihatilat	49			332	57
Lihatilat er				243	74
Yhdistelmä	99	0,21	1655	857	56
Yhdistelmä er		0,17	1345	695	56
Nuorkarja	36			326	47
Nuorkarja er				223	59

Er tarkoittaa maatiloja, joissa asuinrakennusten sähkönkulutus ei ole mukana mittauksissa.

Työtehosteuran tutkimuksessa oli otettu vaihtelevasti mukaan myös asuinrakennusten, tuotantotilojen ja peltoviljelyn energiankulutus, josta johtuu jonkin verran suurempi kulutus lehmää ja maitokiloa kohden sekä kokonaisenergiankulutuksessa että sähkönkulutuksessa. Pelkästään navetan energiankulutusmäärä, jonka Posio (2010) laski MMM:n suositusten ja Työtehosteuran antamien laskelmien mukaan, on 3310 kWh:a kokonaisenergian kulutusta ja siitä 900 kWh sähkönenergian kulutusta lehmäpaikkaa kohti vuodessa. Posion (2010) tutkimuksessa ja Työtehosteuran (2009) julkaisussa on otettu kokonaisenergiankulutukseen mukaan pelloilla tapahtuva energiankulutus rehua tehtäessä. Navetan merkittävimmät energiankuluttajat toimivat sähköllä. Tästä johtuen navetan sähkön kulutus on lähes sama kuin navetan energiankulutus, jos

navetan energiankulutuksen laskelmissa ei oteta huomioon rehunjakoon käytettyjen polttomoottorilla toimivien koneiden käyttämää energiaa. Rehun jako on suoritettu navetasta riippuen sekä sähköisesti että polttomoottorilla toimivilla koneilla.

Taulukko 3. MTT:n tutkimus lämmitysenergian määrästä suomalaisella lypsykarjatilalla (TTS 2009, ref. Virtanen ym 2005).

	Lämmitys vuositasolla MWh/v	Lämpö/ maitokilo kWh/kg	Lämpö/ lypsylehmä kWh/lehmä	Lämpö/ nautayksikkö kWh/ nautayks.	Lämpö lämmin rak- m ² kWh/m ²	Lämpö/ Lämmin rak- m ³ kWh/m ³
Lypsytilat	106	0,24	2162	1266	106	35
lihatilat	109			858	164	49
Yhdistelmä (lypsy ja liha)	114	0,22	1921	981	76	24
Nuorkarja	126			1175	154	51

Grönroosin ja Voutilaisen (2001) saaman tutkimustuloksen avulla pystyin laskemaan vuotuisen sähkön kulutuksen maitokiloa kohden. Heidän tutkimuksistaan selvisi maitomäärä ja sähköenergiankulutus, jolloin pystyin laskemaan sähkön kulutuksen maitolitraa kohden. Sähköä kulutettiin 0,08–0,12 kWh vuodessa tuotettua raakamaitokiloa kohden (taulukko 4). Tutkimuksessaan he vertasivat luomu- ja perinteisen navetan energiankäyttöä ja päästöjä. Kulutuslukema on suuruusluokaltaan sama kuin muissa vastaavissa tutkimuksissa.

Taulukko 4. Grönroos ym. (2001) arvoilla laskettu sähkön kulutus maitokiloa kohden.

	Maitoa kg	Sähköä kWh/vuosi	Sähköä/maitokilo kWh/kg/vuosi
Navetta 1	112000	13280	0,119
Navetta 2	210000	21288	0,101
Navetta 3	3465000	26345	0,008
Navetta 1L	100800	11948	0,119
Navetta 2L	117000	12256	0,105
Navetta 3L	162000	19429	0,120

Taulukossa 5 on energiankulutus 0,12–0,20 kWh maitokiloa kohden, jonka Hörndahl (2007) sai tulokseksi empiirisessä tutkimuksessaan. Posio (2010) sai laskennalliseksi sähkönkulutukseksi keskimäärin 900 kWh/lehmäpaikka. Kun jaoin tämän luvun Suomen vuoden 2011 keskituotoksella 7900 litraa (Maito- ja maitotuotetilasto 2012), sain laskennalliseksi sähkön kulutukseksi eteläsuomalaisella maatilalla maitokiloa kohden 0,11 kWh.

Taulukko 5. Keskimääräinen energiankulutus maitolitraa kohti (Hörndahl 2007).

	150 lehmää	220 lehmää	120 lehmää	146 lehmää	keskiarvo
Toiminto	Lypsyasema	Lypsyasema	lypsyrobotti	Lypsyasema ja robotti	
	Laakasiilo	Laakasiilo	Tornisiilo	Laakasiilo	
	kWh/l	kWh/l	kWh/l	kWh/l maitoa	
	maitoa	maitoa	maitoa		
Ruokinta	0,064	0,042	0,029	0,040	0,044
Ilmanvaihto	0,000	0,008	0,000	0,007	0,004
Lannanpoisto	0,004	0,003	0,006	0,002	0,004
Valaistus	0,021	0,025	0,024	0,019	0,022
Lypsy	0,038	0,046	0,125	0,040	0,062
muu kulutus	0,021	0,016	0,019	0,019	0,019
Kulutus yht.	0,148	0,141	0,203	0,125	0,154
Sähkön					
kulutus	0,085	0,112	0,203	0,088	0,122

2.1.1 Lypsyn energiankulutus

Maidontuotannossa lypsäminen ja maidon jäähdyttäminen kuluttavat paljon energiaa. Kokonaiskulutus on 300–700 kWh/lehmä/vuosi. Taulukosta 1 ilmenee, että lypsyrobotit vaativat noin 100 kWh/lehmä /vuosi enemmän energiaa kuin lypsyasemat (Hörndahl2007). Jos verrataan energiankulutusta tuotettuun maitomäärän, on lehmien keskituotoksella vaikutusta litrakohtaiseen energiankulutukseen. Hörndahlin (2007) tutkimuksessa selvisi, että energiankulutus maitolitraa kohti voi olla suurempi robottinavetassa kuin parsinavetassa, vaikka energiankulutus lehmää kohti vuodessa olisikin suurempi robottinavetassa (taulukko 5).

Lypsyrobotin sähkön kulutuksen vaihteluväli oli 179–584 kWh/lehmäpaikka/vuosi riippuen lypsyrobottimerkistä (Rasmussen ja Pedersen 2004). Hörndahl (2007) sai vuotuiseksi energiankulutukseksi robottinavetoissa 487 ja 572 kWh/lehmä. Veden lämmittämiseen kului robottilypsyssä 89–184 kWh/lehmäpaikka/vuosi (Rasmussen ja Pedersen 2004). Parsi-, robotti- ja asemalypsyssä voidaan olettaa kuluvan sähköä maidon jäähdyttämiseen yhtä suuri määrä, 131 kWh/vuosi (Hörndahl 2007). Kun tämä kulutus lisätään lypsyyn ja veden lämmitykseen kuluneeseen energiaan, saadaan robottilypsyn energiankulutukseksi 289–735 kWh/lehmäpaikka/vuosi.

Suomalaisten lehmien keskituotos oli vuonna 2011 7900 kg/lehmä/vuosi (Maito- ja maitotuotetilasto 2012). Kun tämä laskennallinen lypsyn sähkön kulutus 289–735 kWh/lehmä (Posio 2010), jaetaan suomalaisten lehmien keskituotoksella, saadaan lypsytapahtuman sähkön kulutukseksi keskimääräisesti 0,030–0,093 kWh/kg. Suuruusluokka vastaa ruotsalaista (taulukko 5) tutkimusta. Myös taulukossa 6 on tuloksia, joissa on samaa suuruusluokkaa oleva sähköenergiankulutus maitokiloa kohti (Nilsson & Pålström 1985).

Taulukko 6. Lypsyn energiankulutus (Nilsson & Pålström 1985).

Tuote	Lämmin- vesi	Jäähdy- tys	Lypsämi- nen	Yhteen- sä	
Parsinavetta, 90 lypsylehmää	145	87	82	314	kWh/lehmä/vuo- si
6800kg maitoa/lehmä	0,021	0,013	0,012	0,046	kWh/kg maitoa
Parsinavetta, 20 lypsylehmää	114	78	32	224	kWh/lehmä/vuo- si
6800kg maitoa, 8 kuukautta	0,017	0,011	0,005	0,033	kWh/kg maitoa
Parsinavetta, 30 lypsylehmää	254	105	65	424	kWh/lehmä/vuo- si
7500 kg maitoa	0,034	0,014	0,009	0,057	kWh/kg maitoa
Pihatto, 35 lypsylehmää	150	94	94	338	kWh/lehmä/vuo- si
6200kg maitoa	0,022	0,014	0,014	0,055	kWh/kg maitoa

2.1.2 Ilmanvaihto

Hörndahlin (2007) tutkimuksessa ilmanvaihdon vaatiman energiankulutuksen määrä vaihtelee 0–80 kWh/lehmäpaikka/vuosi. Navetan rakenteet ja ilmanvaihtotapa vaikuttavat merkittävästi ilmanvaihdon kuluttamaan energiamäärään. Pienin energiankulutus oli painovoimaisella ilmanvaihdolla, kuten saattaa olettaa. Nykyisten suositusten mukaan ilmanvaihdon pitäisi pystyä vaihtamaan ilmaa 70–450 m³/h/lehmä (MMM 2012). Tarve vaihtelee sisä- ja ulkoilman kosteuden ja lämpötilan mukaan. Eläimen koko ja tuotos vaikuttavat sisäilman kosteuteen, lämpötilaan ja hiilidioksidipitoisuuteen ja siten myös ilmanvaihdon tarpeeseen.

Maa- ja metsätalousministeriön (2010) ohjeellisten rakennusmääräysten perusteella laskettu teoreettinen ilmanvaihdon kokonaisenergiantarve on Etelä-Suomessa 52 kWh/lehmäpaikka/vuosi (Posio 2010). Tämä vastaa keskimäärin 0,07 kWh:n kulutusta maitokiloa kohti suomalaisen keskituotoksen (7900 kiloa/vuosi) mukaan laskettuna.

2.1.3 Lämmitys

Navetoiden lämmittämiseen on Etelä-Suomessa vain vähäistä tarvetta. Lehmien oma lämmöntuotto pystyy pitämään rakennukset lämpiminä, jos ulkovaipassa on vaadittavat eristeet. Lisäksi maidonjäähdytyksestä ja muista eläinten hoitoon liittyvistä koneista tulee lämpöä navettaan. Posion (2010) opinnäytetyössään tekemien laskelmien mukaan oli Etelä-Suomessa vuonna 2007 keskimäärin seitsemän päivää, jolloin ulkolämpötila laski alle tasapainolämpötilan. Tasapainolämpötila tarkoittaa lämpötilaa jolloin navetan sisällä tuotettu lämpö ja ulkolämpötilan aiheuttaman lämmitystarve on sama. Mitä alhaisempi tasapainolämpötila on, sitä kylmemmässä navetta selviää ilman lisälämmitystä. Lämmitystarpeeksi tuli Etelä-Suomessa 22,5 kWh/vuosi /lehmäpaikka (Posio 2010). Taulukossa 3 on Työtehoseuran tutkimuksen (maatilojen energian käyttö 2009) laskema lämmitykseen käytettävä energiamäärä (2162 kWh/lehmä/vuosi), joka on paljon suurempi kuin Posion (2010) laskema keskimääräinen suomalaisen lypsykarjatilán navetan lämmitykseen käyttämä energiamäärä. Tämä selittyy sillä, että Työtehoseuran tutkimukseen sisältyi muiden talousrakennusten ja osittain asuinrakennusten lämmitykseen käytetty energia.

2.1.4 Lämmin käyttövesi

Aikaisemmissa energiankulutustutkimuksissa on lämpimän käyttöveden energiantarve erotettu lypsytahtumaan käytettävästä lämpimän veden energian tarpeesta (Hörndahl 2007, Posio 2010). Tällä tavalla on saatu eroteltua vain lypsyyn käytetty energia. Taulukosta 7 ilmenee, että lämpimän veden tuottamiseen tarvitaan Suomessa laskennallisesti 240–244 kWh/vuosi/lehmäpaikka (Posio 2010). Omien laskelmieni mukaan, jokaessani luvun Suomen lehmien keskituotoksella, saan energiankulutukseksi noin 0,030 kWh/maitokilo. Posion (2010) tutkimuksen suuruusluokka vaikuttaa pätevältä, kun sitä vertaa Nilsson ja Pählströp (1985) tekemään tutkimukseen, johon sisältyi lypsyyn käytetyn veden lisäksi muuta pesuvettä ja vasikoiden juottovesi.

Taulukko 7. Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia (Posio 2010). Lkv tarkoittaa lämmintä käyttövettä.

	Parsi	Pihatto	
lkv, häviöt	116	131	kWh/lehmä/vuosi
lkv,netto	128	109	kWh/lehmä/vuosi
lkv,brutto	244	240	kWh/lehmä/vuosi

2.1.5 Valaistus

Valaistuksen tarve navetassa vaihtelee vuorokauden- ja vuodenajan mukaan. Kun on riittävä valaistus, lehmät syövät ja juovat paremmin, jolloin niiden tuotos paranee. Ihmisten työskentely ja työturvallisuus vaatii riittävää valaistusta. Lainsäädännössä määrätään minimivalaistuksen tarve navetassa. Maa- ja metsätalousministeriön raportissa (MMM 2012) määritellään yleisvalaistuksen tarpeeksi 150 luxia 2 metrin korkeudella lattiasta. Lypsyasemalla pitää olla utarekorkeudella valaistusta 250 luxia.

Valaistuksen energiantarpeeseen vaikuttaa lampputyypin. Led-lamppu kuluttaa huomattavasti vähemmän energiaa kuin hehkulamppu tai loisteputkivalaisin. Hehkulampuista vapautuu runsaasti lämpöenergiaa. Tosin hehkulamppujen valmistus on lopetettu ja led-valot eivät lämpiä juuri lainkaan. Posio (2010) laski

valaistuksen energiankulutuksen maatalousministeriön vuoden 2002 suositusten mukaan. Silloin oli yleisvalaistuksen normi 100 luxia, mikä on vähemmän kuin nykyään (150 luxia). Posio käytti laskennassaan loisteputkivalaisimia. Taulukosta 8 ilmenee, että valaistuksen energiankulutuksessa on merkittäviä eroja lypsyrobotillisten ja lypsyasemallisten navetoiden välillä. Esimerkiksi pihatton suurempi koko lisää valaistuksen tarvetta ja siten energiankulutusta. Laskennallinen valaistuksen energian tarve Etelä-Suomessa on 72 kWh/lehmäpaikka /vuosi pihatossa ja 70 kWh/lehmäpaikkai/vuosi parsinavetassa. (Posio 2010).

Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Hörndahl 2007) oli pienin valaistukseen tarvittu energiamäärä lypsyrobotinavetassa, mikä vastaa Posion (2010) laskelmia lypsyrobotinavetan pienemmästä valontarpeesta. Hörndahlin (2007) saama suurempi valaistusenergian kulutus 109–227 kWh/lehmäpaikka/vuosi (0,019–0,021 kWh/litra maitoa) voi johtua joko eteläisemmästä sijainnista, mikä lisää valaistuksen tarvetta kesäisin, tai valaistuksen käytöstä aikana, jolloin sitä ei välttämättä tarvittaisi. Posion (2010) mukaan laskennallinen valaistuksen energian tarve on Etelä-Suomessa noin 0,009 kWh/maitolitra.

Taulukko 8. Valaistuksen energiantarve navetoissa.

	kWh/v/lehmäpaikka	kWh/maitolitra
Posio (2010)	70–72	0,009
Hörndahl (2007)	109–227	0,019–0,021

2.1.6 Rehunjako

Taulukossa 9 tulee esiin, että rehunjaossa on mahdollista käyttää erilaisia vaihtoehtoja. On täysin sähköllä toimivia laitteita, polttoaineella toimivien laitteiden yhdistelmiä, sekä sähkökäyttöisten ja polttoaineella toimivien laitteiden koneketjuja. Ruokinnan energiankulutukseen vaikuttaa myös koneellistumisen aste. Ruoka, joka käytetään ihmisten fyysisen työn energian lähteenä, ei ole mukana laskelmissa. Säilörehun käsittelyssä käytetään enemmän energiaa kuin väkirehun käsittelyssä. Jos muutetaan tuotantoa säilörehuvaltaisesta ruokinnasta enemmän väkirehua sisältävään ruokintaan, pienenee myös ruokintaan käytetty suora energiamäärä. Sähkökäyttöiset laitteet veivät vähemmän energiaa kuin polttomoottorikäyttöiset

laitteet. Tämä voi johtua polttoainekäyttöisten laitteiden huonommasta hyötysuhteesta. Sähkön kulutuksessa ei ollut kyseisessä tutkimuksessa otettu huomioon sähkön tuotannosta aiheutuvaa energiankulutusta. Tämän asian huomioon ottaminen on ilmeisen vaikeaa, koska silloin pitäisi ottaa huomioon myös öljyn-tuotannon vaikutus polttoaineen käytön hyötysuhteeseen, sekä sähköntuotantoon käytetyn energian määrä. Ruokinnan energiankulutus vaihteli 133 kWh:sta 652 kWh:iin vuodessa lehmäpaikkaa kohden. Tämä vastaa 0,029–0,064 kWh/ maitolitra. (Hörndahl 2007).

Taulukko 9. Eri ruokintajärjestelmien energiankulutus (Hörndahl 2007).

Ruokintajärjestelmä	kWh/lehmäpaikka/vuosi
Tasosiilo, traktori, rehuvaunu ja kioski	652
Tasosiilo, traktori, rehuvaunu ja kioski sekä trukki nuorkarjalle	370
Tornisiilo, kiskoruokkija ja kioskit	160
Tasosiilo, traktori, rehuvaunu, matoruokkija viljalle ja sähkötoim. karkean rehun jakovaunu	480
Tornisiilo, kiskoruokkija, sähkötoiminen sekoitin ja kioskit	274

2.1.7 Lannanpoisto

Lannan poistoon kuluu sähköä kuivalantasysteemillä toimivassa navetassa 22–40 kWh/lehmäpaikka/vuosi, riippuen lannanpoistokoneen toimintatavasta. Jos lietelanta poistetaan pumppaamalla, on sähkönkulutus 6,3–43,6 kWh/vuosi/lehmäpaikka. (Hörndahl 2007).

2.1.8 Veden pumppaus

Paitsi veden lämmitykseen, myös veden pumppaukseen kuluu energiaa. Posio (2010) laski opinnäytetyössään 5–60 metrin korkeuteen nostetun veden aiheuttaman energiankulutuksen. Se oli välillä 13–35 kWh/lehmäpaikka/vuosi.

2.2 Energiankulutuksen mittaus

Sähkö, polttoaineet ja lämpö ovat erityyppisiä energiamuotoja, minkä vuoksi niitä ei voida mitata samanlaisilla mittareilla. Kaikki energiamuodot voidaan kuitenkin muuntaa yhteismitallisesti jouleiksi (J) tai kilowattitunneiksi (kWh). Joule on SI-järjestelmän yksikkö ja sitä tulisi suosia tieteellisissä julkaisuissa. Kilowattitunti on kuitenkin edelleen käytössä esimerkiksi sähkön laskutuksessa. 3600 kilojoulea (kJ) vastaa yhtä kilowattituntia. Jos yhden kilovatin tehoinen moottori käy yhden tunnin, kuluttaa se energiaa yhden kilowattitunnin tai 3600 kilojoulen tai 3,6 megajoulen verran. Suomalaisessa omakotitalossa käytetään energiaa lämmitykseen vuodessa 10000 – 30000 kilowattituntia, joka vastaa 36000–108000 megajoulea (Vattenfall 2012). Kilowattitunti on havainnollisempi ja sen käyttäminen mittausyksikkönä mahdollistaa tulosten paremman ymmärrettävyyden. Suomessa yksi kilowattitunti sähköä maksaa noin 10 senttiä (Sähkövertailu 2012).

2.2.1 Sähkö

Sähkönkulutusta voidaan mitata jatkuvatoimisella mittarilla, joka mittaa kaiken käytetyn energian. Kotitalouksissa ja navetoissa on yleensä yksi sähkökeskus. Keskuksessa on kokonaisenergiaa mittaava jatkuvatoiminen mittari, josta voi nähdä kokonaiskulutuksen. Haluttaessa selvittää hetkellistä energiankulutusta täytyy tieto pystyä tallentamaan, jotta sen voi jälkeinpäin lukea ja analysoida. Tallentava mittari voi esimerkiksi lähettää pulssin, kun yksi kilowattitunti on tullut täyteen. Ajanhetkestä ja tiedosta voidaan päätellä minkä verran ja milloin energiaa käytetään. Tämän tyyppinen mittari tarvitaan, kun halutaan mitata energiankulutusta laitteesta, joka on epäsäännöllisessä käytössä tai jossa on kulutuspiikkejä.

Yksinkertaisempi energiankulutusta mittaava laite mittaa tietyin väliajoin virran (I) voimakkuuden. Kun tiedetään johdoissa vallitseva jännite (U), saadaan laskettua sen hetkinen teho ($P = U \cdot I$). Kun teho (P) kerrotaan ajalla (t), saadaan laskettua energiankulutus (E) ($E = P \cdot t$). Tämän tyyppinen mittalaite soveltuu mittaamaan energiankulutusta laitteesta, jonka toiminnassa ei ole suuria hetkellisiä vaihteluita. Hetkellinen kulutus jää huomioimatta tämän tyyppisissä mittareissa. Jos mittarin avulla saadaan mitattua hetkellinen teho esimerkiksi 5 minuutin välein ja kone

käyttää suurempaa tai pienempää tehoa mittauksen välillä kuin mitattaessa, energiankulutukseksi saadaan laskemalla tuo mittauksen tulos kertaa aika (5 minuuttia). Todellinen energiankulutuksen määrä on joko pienempi tai suurempi. Tietyin väliajoin virran voimakkuutta mittaava laite on helpompi asentaa ja sillä saadaan enemmän mittauksia yhdestä paikasta. Tällöin saadaan enemmän mittaustuloksia halvemmalla kuin jatkuvatoimisella mittarilla saataisiin. Tämänkaltaisessa mittauksessa pitää tietää myös jännitteen ja virran vaihe-ero. Pelkkä virran ja jännitteen tietämisen avulla lasketaan vain näennäisteho, joka on sama kuin pätöteho vain jos vaihe-eroa ei ole. Vaihe-eroa kuvataan kulmalla φ . Kun tiedetään vaihekulma φ , voidaan laskea pätöteho kertomalla näennäisteho $\cos \varphi$:llä. Näennäisteho on tehoa jonka voimalaitos joutuu tuottamaan. Pätöteho on tehoa, joka käytetään kun kulutetaan energiaa, josta kotitaloudet pääsääntöisesti maksavat. Aikaisemmin loistehon määrä kotitalouksissa on ollut pieni ja loistehoa mittaava mittari on ollut monimutkaisempi ja kalliimpi kuin pelkän pätötehon mittaava mittari. Vanhemmat kotitalouden mittarit mittasivat vain pätötehoa ja kuluessaan sitäkin vähän alakanttiin. Kuluneet osat mittarissa pyörivät hitaammin samalla teholla, jolloin mittarin näyttämä energiankulutuksen lukema on vähemmän kuin todellinen energiankulutus. Ilmeisesti lukeman heitto on kuitenkin pieni, koska energiayhtiöillä ei ole ollut suurempaa kiinnostusta mittareiden vaihtoon. Loistehon huomioivia mittareita on suuremmissa teollisuuslaitoksissa, joissa loistehon aiheuttama lisätehontarve, sekä energiahäviöt energiaa tuottavalle voimalaitokselle voivat olla merkittäviä. Sähkökäyttöisten koneiden, energiansäästö- ja led-lamppujen yleistyessä voi tulevaisuudessa olla tarvetta kotitalouksien loistehon mittaukseen.

2.2.2 Lämmitys

Lämmityksen energian kokonaiskulutus voidaan mitata tarkasti, jos tiedetään energiantuotantopaikka ja voidaan mitata tuotantopaikan käyttämä energia. Jos tuotantopaikka on esimerkiksi lämmityskeskus, jossa mitattavan energian lähde on puuta, sähköä, öljyä tai kaasua, on energian lähteen määrä ja energiasisältö yksinkertaista laskea. Tällaiseen mittaukseen sisältyy myös lämmityksessä hukkaan menevä lämpö, joka vaihtelee riippuen lämmittimen hyötysuhteesta ja etäisyydestä lämmityskohteeseen, sekä lämmitysputkien eristyksestä.

Jos energian lähdettä tai käyttömäärää ei tiedetä, on mahdollista rekisteröidä tulo- ja menoveden lämpötilat lämpötila-antureilla. Tällaisessa mittauksessa ei tule huomioonotetuksi lämmittimen hyötysuhdetta eikä lämpöä siirtävän väliaineen

menettämää lämpöä matkalla lämmityskohteeseen. Tallentavan lämpötila-anturin avulla saadaan rekisteröityä lämpötiloja esimerkiksi viiden minuutin välein. Pattereissa olevan virtauksen (litraa/minuutti) ja tulo- ja menoveden lämpötilaeron (astetta kelviniä tai celsiusta) avulla voidaan laskea patterin tilaan luovuttama lämpö. Lämmitysputkissa on yleensä paikka, josta veden virtaus voidaan mitata. Virtauksen mittaaminen perustuu paine-eroon, joka esiintyy mittauspaikan kuristimen eri puolten välillä.

Säännöllisin väliajoin mitattujen kiertoveden lämpötilojen avulla lasketut energiamäärät lasketaan yhteen, jotta saadaan luovutetun kokonaisenergian (Q) määrä. Jotta tämä voidaan laskea, täytyy tietää välittäjäaineen ominaislämpökapasiteetti (c) sekä aineen tiheys (ρ). Tiheys tarvitaan kun lasketaan aineen tilavuuden perusteella sen paino. Tämä saadaan kaavalla massa (m) = tiheys (ρ) · tilavuus (V). (Yhtälö 1)

$$m = \rho \cdot V \quad (1)$$

jossa

m = massa

ρ = tiheys

V = tilavuus

$$Q = C \cdot \Delta T = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

jossa

Q = lämpömäärä

C = lämpökapasiteetti

m = massa

c = ominaislämpökapasiteetti

ΔT = lämpötilaero

2.2.3 Polttoaine

Polttoaineen sisältämän energiamäärän avulla voidaan mitata energiankulutusta kun tiedämme polttoaineen määrän. Maatiloilla koneita käytetään kuitenkin muuallakin kuin navetassa, jolloin voi olla työlästä selvittää kuinka paljon energiaa on kulunut

juuri navetan toimissa. Jos kyseessä on samaa tehoa vaativia töitä navetassa ja navetan ulkopuolella, saadaan koneen energiankulutuksesta luotettavaa tietoa tiedettäessä polttoaineen kulutus ja käyttötunnit sekä navetassa että navetan ulkopuolella. Eri polttoaineet sisältävät erilaisia määriä energiaa suhteessa tilavuuteen tai painoon. Polttoaineiden energiasisältö ilmoitetaan useasti megajouleina painoa tai tilavuutta kohden. Taulukosta 10 näkee, että litra kevyttä polttoöljyä, jota yleisesti käytetään maatilojen koneissa, sisältää 10,02 kilowattituntia tai 36,07 megajoulea energiaa (Motiva Oy 2010).

Taulukko 10. Polttoaineiden lämpöarvoja (Motiva Oy 2010).

Polttoaine	Lämpöarvo	
Moottoribensiini	8,96	kWh/litra
Dieselöljy	10,05	kWh/litra
Nestekaasut	12,83	kWh/kg
Kevyt polttoöljy	10,02	kWh/litra
Raskas polttoöljy	11,42	kWh/kg
Maakaasu	10	kWh/m ³
Biokaasu	4,4–7,4	kWh/m ³

2.3 Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian mittaus

Ilmanvaihdon kautta poistuu rakennuksesta energiaa sitoutuneena ilmaan ja vesihöyryyn. Kun tiedetään ulkoa otetun ilman ja sisäilman energiasisältö, voidaan poistoilman energiasisällöstä vähentää tuloilman energiasisältö, jolloin saadaan poistuvaan ilmaan liittynyt energiamäärä. Mollier-diagrammista saadaan energiasisältö kiloa ilmaa kohden. Myös absoluuttisen kosteuden määrä löytyy Mollier-diagrammista tiedettäessä lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. Energiasisällölle on olemassa laskukaava, jonka avulla voidaan laskea ilman hetkellinen energiasisältö esim. kuukauden ajalta. Ilmasta täytyy tietää lämpötila, kosteus, ilmanpaine ja ilmamäärä. Liitteessä 2 on laskentakaavio, joka täytyy kirjoittaa Excelin makroiin, jotta saadaan hetkellinen absoluuttinen kosteus.

Hetkellisen ilman entalpien pystyy laskemaan, kun tietää ilmamäärän. Entalpien laskukaava on esitetty kaavassa 3. Entalpia tarkoittaa ilman energiasisältöä.

$$h = h_i + xh_v \quad (3)$$

$$h_i = c_i(T - T_0)h$$

$$h_{vh} = c_v(T - T_0)$$

jossa

h = ilmaseoksen entalpia

h_i = ilman entalpia

x = absoluuttinen kosteus

h_v = vesihöyryn entalpia

c_i = ilman ominaislämpö, 1,007 kJ/kgC

h_{vh} = veden höyrystymislämpö 0 asteessa, 2502 kJ/kg

c_v = vesihöyryn ominaislämpö, 1,87 kJ/kgC

T = laskentalämpötila, C

T_0 = vertailulämpötila, 0°C

Lämpötila ja kosteus voidaan mitata antureilla. Puhaltimen nimellisteholla aiheuttama virtaus löytyy yleensä valmistajan antamista tiedoista. Virtaus kuitenkin vaihtelee ilmanvaihdon tarpeen mukaan, mistä johtuen puhaltimet eivät käy jatkuvasti täydellä teholla. Myös vastapaine vaikuttaa ilmamäärään. Tällöin sekä virrankulutuksen että ilmavirtauksen arvioiminen voi olla vaikeaa. Kokonaisvirtauksen mittaaminen anturilla on hieman ongelmallista, koska virtaus on erilainen (suurempi) putken keskellä kuin reunoissa. Ilmaa vaihtuu myös muualta kuin puhaltimien kautta. Ikkunoita ja ovia aukoessa vaihtuu ilma niiden kautta.

Ilmanvaihto voidaan laskea myös epäsuorasti käyttäen hiilidioksidimittausta apuna. Tämä mittaus perustuu siihen, että navetassa melkein kaiken hiilidioksidin tuottavat eläimet. Tietyn painoisen ja tietyn tuotoksen omaavan lehmän hiilidioksidin tuotto voidaan arvioida suhteellisen tarkasti, samoin vasikoiden ja hiehojen hiilidioksidin tuotto. Tämä perustuu siihen, että eläimen muuttaessa ravintoa energiaksi, vapautuu prosessissa tietty määrä hiilidioksidia. Sisäilman ja tuloilman hiilidioksidipitoisuuden erotuksen avulla voidaan laskea ilmanvaihdon suuruus. Tällöin tulee otetuksi

huomioon myös muualta kuin puhaltimien kautta poistunut ilma (Mannfors ja Hautala 2011).

Nautojen tuottama hiilidioksidi poistuu navetasta ilmanvaihdon kautta. Kun nautojen tunnissa tuottama hiilidioksidimäärä jaetaan sisäilman ja ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden erotuksella, saadaan tunnissa poistuvan ilman määrä. Ilmanvaihdon (q_i) (l/h) suuruus saadaan, kun lehmien tuottama hiilidioksidivirta (q_l) (CO_2 l/h) jaetaan sisäilman hiilidioksidipitoisuuden CO_{2p} (ppm) ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden CO_{2t} (ppm) erotuksella (kaava 4) (Mannfors ja Hautala 2011). Eläinten energiantuotannossa hiilidioksidia vapautuu noin 0,036 litraa yhtä tuotettua kilojoulea kohden.

$$q_i = \frac{q_l}{\text{CO}_{2p} - \text{CO}_{2t}} \quad (4)$$

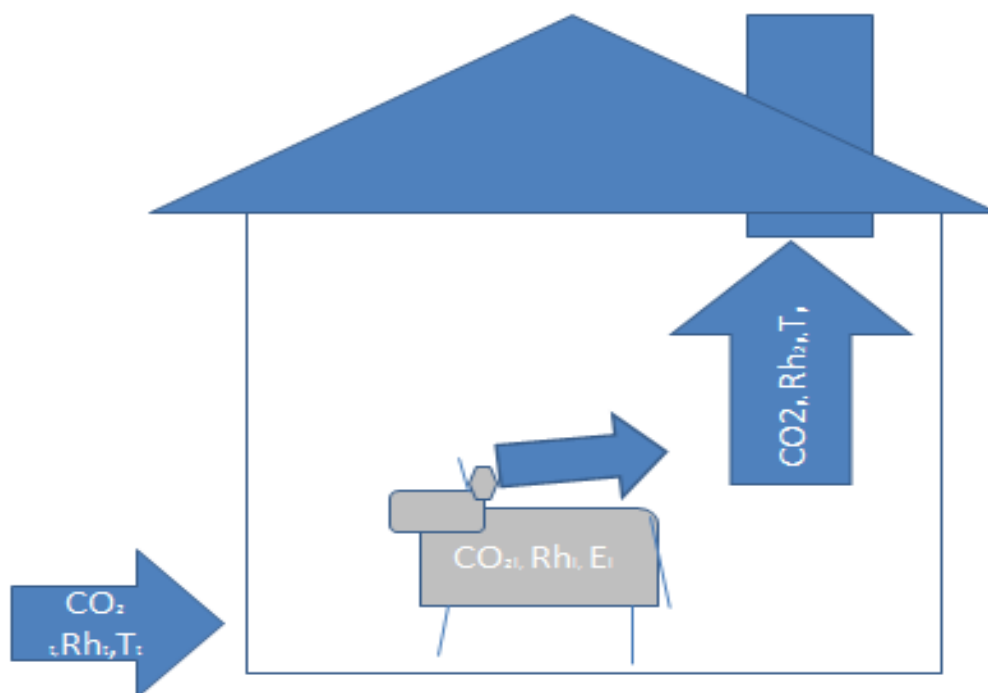
jossa

q_i = ilmanvaihdon suuruus

q_l = lehmien tuottama hiilidioksidivirta (l/h)

CO_{2p} = sisäilman hiilidioksidipitoisuus (ppm)

CO_{2t} = ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (ppm)



Kuva 1. Navetan ilmanvaihto yksinkertaistettuna.

Lehmien tuottama lämmitysteho (W) saadaan Mannfors ja Hautala (2011) tutkimuksissaan esittämästä kaavasta 6. Heidän tutkimuksensa perustana on Commission Internationale du Génie Rural (CIGR) järjestön vuonna 1984 julkaisema raportti "Report of Working Group on Climatization of Animal Houses". Hiehojen ja vasikoiden lämmöntuoton laskelma on esitetty kuvassa 2 (kaavat 5 ja 6)

$$P_v = 6,44m^{0,70} + \left(\frac{13,3y_2(6,28+0,0188m)}{1-0,3y_2} \right) \quad (5)$$

jossa

P_v = vasikan lämmöntuotto (W)

m = eläimen massa (kg)

y_2 = elopainon lisääntyminen (kg / vrk)

$$P_h = 7.64m^{0,69} + y_2 \left(\frac{23}{M} - 1 \right) \left(\frac{57,27+0,302m}{1-0,171y_2} \right) + 1,6 \times 10^{-5} p^3 \quad (6)$$

jossa

P_h = hiehon lämmöntuotto (W)

m = eläimen massa

y_2 = elopainon lisääntyminen (kg / vrk)

M = Rehun ravintoarvo (MJ / Kg kuiva-ainetta)

p = tiineyspäivien lukumäärä

$$P_l = 5,6m^{0,75} + 22y_1 + 1,6 \cdot 10^{-5} p^3 \quad (7)$$

jossa

P_l = lehmän lämmöntuotto

m = eläimen massa

y_1 = maidon tuotto (kg / vrk)

p = tiineyspäivien lukumäärä

Eläinlaji	Lämmöntuotto, $P_{Q,tot} (+20^{\circ}\text{C}) = P_{Q,perusaineenvaihdunta} + P_{Q,kasvu} + P_{Q,tuotos} + P_{Q,tiineys} \text{ (W)}^a$
<i>Nauta</i>	
Hiehovasikat	$6,44m^{0,70} + \left[\frac{13,3Y_2(6,28 + 0,0188m)}{1 - 0,3Y_2} \right]$
Lihakarja (kaikki ikäluokat)	$7,64m^{0,69} + Y_2 \left(\frac{23}{M} - 1 \right) \left(\frac{57,27 + 0,302m}{1 - 0,171Y_2} \right)$
Uudistushiehot	$7,64m^{0,69} + Y_2 \left(\frac{23}{M} - 1 \right) \left(\frac{57,27 + 0,302m}{1 - 0,171Y_2} \right) + 1,6 \times 10^{-5} p^3$

Lausekkeiden tekijöiden merkitykset ja yksiköt: m = eläimen elopaino (kg), Y_1 = maidon tuotto (kg/vrk), Y_2 = elopainon lisääntyminen (kg/vrk), M = rehun ravintoarvo (MJ/kg kuiva-ainetta), p = tiineyspäivien lukumäärä.

Kuva 2. Nautojen lämmöntuottoja (Mannfors ja Hautala 2011)

Ilmanvaihdossa poistuu vesihöyryyn ja ilmaan sitoutunutta energiaa. Osa lehmien tuottamasta lämmöstä sitoutuu vesihöyryyn lämmittämättä suoraan navettaa. Navetan tuuletustarvetta laskiessa pitää käyttää suoraa lämmöntuottoa (Mannfors ja Hautala 2011). Ilmanvaihdon mukana poistuvaa energiamäärää arvioitaessa on otettava huomioon, että lehmien kokonaislämmöntuotto vaikuttaa poistuvan ilman energiasisältöön. Tämä on tärkeää huomioida, jos arvioi lehmien lämmöntuottopotentiaalia suunniteltaessa lämmöntalteenottoa lämmönvaihtimien avulla.

Navetassa syntyy vesihöyryä. Sitä tuottavat lehmät ja sitä höyrystyy navetan pinnoilta. Mannfors ja Hautala (2011) laskivat tutkimuksissaan arvion tuotetusta vesimäärästä lehmää kohti. Vesimäärä on suoraan riippuvainen lehmien lämmöntuotosta, joka jakautuu suoraan ja epäsuoraan osaan. Epäsuora lämpö on sitoutunut veteen ja suora lämpö vaikuttaa navetan ilman lämpötilaan. Laskemalla ilmaan tuotetun vesihöyryn määrän ja selvittämällä tuloilman ja sisäilman vesipitoisuuden on mahdollista laskea ilmanvaihdon suuruusluokka. Tätä lukemaa voi käyttää hyväksi vertaillessa esimerkiksi hiilidioksiditaseen tai lämpötaseen avulla laskettua ilmanvaihdon suuruutta.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Energian käyttömäärät ja kohteet vaihtelevat suomalaisissa navetoissa. On selkeää tarvetta selvittää kohteita joihin energiaa käytetään, sekä analysoida energiankulutuksen määrää eri käyttökohteissa. Kun tiedetään tarkat määrät ja kohteet, voidaan säästötoimenpiteet kohdentaa parhaalla mahdollisella tavalla. Tehostettaessa suuren yksittäisen kulutuskohteen toimintaa prosentuaalisesti laskettuna vähänkin, on mahdollista saada aikaan merkittävämpiä säästöjä kuin pienen kuluttajan suurella prosentuaalisesti lasketulla säästöllä. Toisaalta vähänkin säästäminen tarpeeksi useasta kohteesta voi saada aikaan merkittävää kulutuksen vähenemistä. Tutkimuksen tavoitteet ovat seuraavat:

Tavoite 1 on mitata Viikin koenavetan energiankulutusta. Tarkoitus on selvittää navetan toiminnassa käytetyn suoran energian kulutusta: sähkö, kaukolämpö ja polttoaine. Mittauksissa keskitytään vain pätötehon mittaukseen.

Tavoite 2 on arvioida ilmanvaihdon kautta poistuvaa energiamäärää. Navetasta poistuu energiaa lämpönä ja sitoutuneena vesihöyryyn. Vesihöyryä ja lämpöä poistuu ilmanvaihdon kautta, kun taas katon ja seinien läpi poistuu lämpöä johtumalla. Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian mittaaminen suoritetaan vähentämällä poistoilman energiasisällöstä tuloilman energiasisältö. Navettaan tulee lämpöenergiaa pattereiden lämmityksestä, koneiden käytöstä, maidon jäähdytyksestä ja eläimistä. Kun tuotetusta energiasta vähennetään ilmanvaihdon kautta poistuva energia, saadaan arvio katon ja seinien kautta poistuneesta lämpöenergiasta. Vaikeutena on arvioida useiden eri sähkömoottoreiden lämpövaikutus, joten niiden tilaan luovuttaman lämpöenergian laskeminen rajataan tutkimuksen ulkopuolelle. Maidon jäähdytyksestä aiheutuva lämpö ei ole mukana lämpöenergian tuottajana, koska maitohuone on erillään muusta navetasta ja sen tuuletus on erillään lehmätilan tuuleuksesta.

Tavoite 3 on arvioida mahdollisia säästökohteita navetassa. Koska on tarvetta säästää energiaa, on hyvä tietää minne energiaa kuluu, jotta säästötoimenpiteet tai tekniset korjaukset voidaan kohdentaa oikein. Yksittäisten toimintojen energiankulutuksen selvittämisen jälkeen on mahdollista arvioida potentiaalisia energiansäästökohteita.

Tutkimustuloksissa tulee ottaa huomioon myös se, että navetta on tutkimusnavetta. Tämä aiheuttaa poikkeavuutta muihin navetoihin verrattuna. Navetassa on tutkimustoimintaa, mistä syystä lehmät lypsetään välillä parsissa. Maituhuoneen vieressä on tutkimushuone, ja siellä on yksiköitä joita yleisesti Suomessa navetoissa ei ole.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Viikin koetilan navetta

Tutkimuksen kohteena oleva navetta (kuva 3) on Viikin tutkimustilalla. Tila sijaitsee Helsingin kaupungin alueella Viikissä. Viikin opetus- ja tutkimustila on Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan alainen yksikkö. Tilan kokonaispinta-ala on 353 hehtaaria, josta peltoa on 157 ha ja metsää 72 ha. Loput ovat vesijättömaata tai muuta maata ja tontteja.



Kuva 3. Viikin koetilan navetta kesä 2012

Navettarakennus on vanha kivinavetta, jota on peruskorjattu vuonna 2006. Sen pinta-ala on 685m² ja tilavuus on 3045m³. Maitohuoneen pinta-ala on 24 m² ja pesuhuoneen 22m². Rehuhuoneen ala on 338m².

4.2 Navetan lehmäpuoli

Navetta on tyypiltään pihatto, jossa on 44 parsipaikkaa lehmille. Navetassa on myös erikseen 12 parsipaikkaa tutkimuksen kohteena olevia lehmiä varten. Näillä paikoilla voidaan pitää huonosti liikkuvia tai laumaan sopimattomia lehmiä väliaikaisesti. Tämän lisäksi on neljä poikimiskarsinaa. Pienille, alle kolme kuukautta vanhoille vasikoille on kaksi karsinaa, joiden ala on 18 m². Lisäksi on 4 yksityiskarsinaa vastasyntyneille vasikoille. Nämä ovat erillisessä 65 m² tilassa navetan sisällä. Hiehot, jotka ovat yli kolme kuukautta vanhoja, siirretään yleensä toiseen rakennukseen, josta ne otetaan takaisin navettaan, kun on niiden poikimisen aika.

4.3 Navetan koneet

Navetassa on lypsyrobotti, maitotankki, apesekoitin, ruokinta-automaatti, kiskoilla kulkeva ruokintavaunu ja kiinteän lannan poisto. Laitteiden liitântätehot ovat liitteessä 1. Lypsy tapahtuu Lely Astronaut A3-lypsyrobotilla. Lypsyrobotti tarvitsee lisäksi robotin ulkopuolelta tulevaa paineilmaa, joka liikuttaa sen varsia. Parsipaikoilla olevia lehmiä varten on erillinen putkilypsykone. Putkilypsykone tarvitsee oman alipainepumpun. Putkilypsykoneen pesun hoitaa oma pesuri. Maitotankissa on automaattinen maidon jäähdytys ja tankin pesu. Tankkiin tulee lisäksi lämmintä pesuvettä lämminvesivaraajasta. Lannan poisto toimii navetassa olevien raappojen avulla. Raapat toimivat kahdenlaisilla vetokoneistoilla. Leveät pihattoraapat toimivat vaijerivetoisesti sähkömoottorien avulla ja parsipuolen lantakourussa olevat raapat saavat voiman liikkumiseen hydraulimoottorista. Lantakuilusta poistuu lanta lantalaan erillisen hydraulimoottorin voimalla.

Rehun jako toimii rehunjakovaunun avulla ja siinä oleva mattokuljetin toimii sähkömoottorien ja liikkuvan maton avulla. Ape sekoitetaan apesekoittimessa ja säilörehu tulee apesekoittimeen täyttöpöydän kautta. Väkirehu tulee apesekoittimeen ketjuruokkijoiden avulla. Ketjuruokkijat toimivat navetan ulkopuolisten siilojen alapuolella olevien sähkömoottoreiden avulla. Siiloja ja moottoreita on kuusi.

Mittausten aikana on ollut toiminnassa kaksi moottoria, koska on käytetty kahden siilon väkirehua. Vasikoille on varattuna kaksi juottoautomaattia.

Navetassa on koneellinen poistoilma, johon kuuluu viisi puhallinta lehmien puolella ja yksi puhallin vasikoiden puolella. Valaistus hoidetaan 58 watin tehoisilla loisteputkivalaisimilla. Niitä on yhteensä 83 kpl. Lisäksi on 10 kpl 36 watin tehoista lisävalaisinta. Valaistuksen yhteinen tehovaatimus on 10 kilowattia. Moottoreiden nimellistehot on koottu liitteeseen 1.

Navetassa on 60–70 lehmää ja vasikoita noin 10–20 kappaletta. Hiehoja on 10–30 kpl ja ne ovat viereisessä rakennuksessa. Eläinten määrä vaihtelee. Vaihtelun syitä ovat vuodenaika, tutkimukset, jalostus ja luonnollinen vaihtelu. Hiehot siirretään noin kolmen kuukauden iässä toiseen rakennukseen, josta ne otetaan takaisin navettaan vähän ennen poikimista. Rakennus, jossa hiehot ovat, oli rajattu mittausten ulkopuolelle.

Eläinmäärät ja maidon tuotokset saatiin kuukausittaisen Pro-Agrian kausiraportin mukaan, joten energiankulutuslukemat voidaan suhteuttaa lehmien lukumäärään ja todelliseen maidontuotokseen. Tutkimukseni aikana lehmiä oli keskimäärin 64 kpl. (Viikin navetan tuotostietoja 2012). Lypsyrobotin lehmämääränä käytettiin pienempää lukemaa Lely-Astronautin keräämästä tietokannasta, koska osa lehmistä lypsettiin putkilypsykoneella. Työntekijöiden arvio putkilypsykoneella lypsettävien lehmien määrästä oli noin kymmenen, joten robotilla pitäisi käydä 40–50 lehmää päivässä. Viikin koetilan navetan energia-analyysissä käytettiin mitattuja ja laskettuja suoria energiapanoksia, jotka sisälsivät tuotantoon käytetyn energiamäärän.

4.2 Mittauslaitteisto

Mittalaitteisto koostui kolmenlaisista sähkövirran mittareista ja lämpötilaa mittaavista tiedonkeruulaitteista. Viikin tilalta oli mahdollista saada työkoneiden polttoaineen kulutustiedot. Ilmanvaihdon kautta poistuvan energiamäärän tiedot perustuivat asennettuihin säätilamittareihin navetan ulkopuolella sekä navettaan asennettuihin ilmakehän kosteuden, lämpötilan ja hiilidioksidipitoisuuden mittareihin.

4.2.1 Sähkönkulutuksen mittalaitteisto

Tätä tutkimusta varten oli navettaan asennettu kahdeksan jatkuvaa energiankulutusta mittaavaa mittaria. Ne oli asennettu **maitotankkiin**,

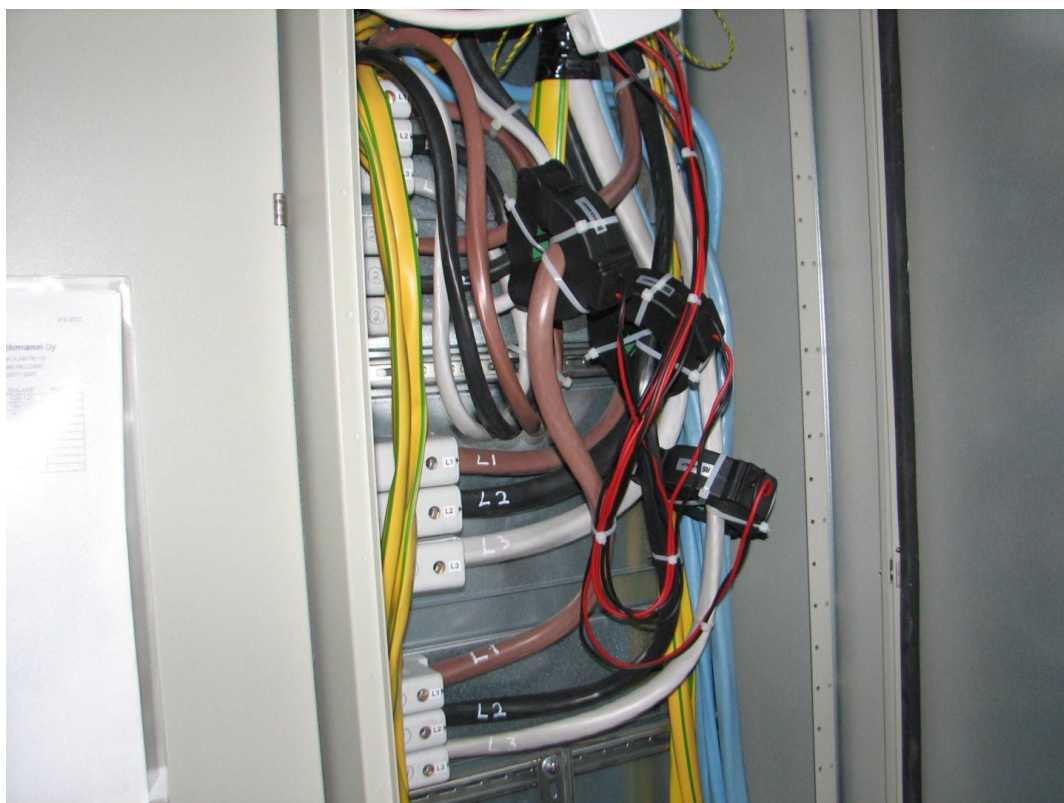
lämminvestivaraajaan, lypsyrobottiin, rehunsekoittimeen, vaijerivetoiseen ja hydrauliseen lannanpoistokoneeseen, ryhmäkeskus 3.1:een ja ryhmäkeskus 4:ään. Nämä mittasivat pätötehon, jolloin saatiin todellinen energiankulutus. **Ryhmäkeskus 3.1:een** sisältyy rehunjakokoneiston ja lannanpoiston energiankulutus. **Ryhmäkeskus 4** sisältää navetan koko energiankulutuksen.

Pätöteho tarkoittaa tehoa, jonka koneet käyttävät. Kotitalouksien vanhat mittarit, joissa pyöri kiekko, mittasivat energiankulutusta vain pätötehon avulla. Näiden mittareiden toiminta perustuu virran muuntajassa aiheuttamaan momenttiin, mikä pyörittää esillä olevaa kiekkoa. Vanhemmissa mittareissa on kaksi sähkömagneettia, jotka aiheuttavat pyörrevirtoja alumiiniekkoon. Pyörrevirrat aiheuttavat kiekkoon voiman, joka saa kiekon pyörimään. Alumiiniekon toisella laidalla on kestopagneetti, joka pyrkii hidastamaan kiekon pyörimistä. Alumiiniekon pyöriminen on verrannollinen sähkömagneettien kautta kulkevaan tehoon. Alumiiniekon pyöriminen välitetään hammasrattaiston välityksellä laskurille tai viisareille, joista kulutettu energia voidaan lukea. Jos virtaan ja jännitteeseen syntyy esimerkiksi led-lampun tai sähkömoottorin aiheuttama vaihe-ero, ei mittari pysty pyörittämään kiekkoa täydellä teholla, jolloin kiekon pyörimistehoon perustuvat energiankulutuslukemat mittarissa ovat pienemmät kuin todellinen energiantuotto. Voimalaitos joutuu kuitenkin tuottamaan kokonaistehon. Suurissa sähkömoottoreissa loisteho voi vääristää mittaustuloksia, jos moottoreihin ei ole asennettu kompensattoria, jonka avulla virran ja jännitteen vaihe-erot saadaan tasattua. Loisteputkivalaisimissa ja led-lampuissa pätöteho voi olla jopa puolet kokonaistehosta.

Sähkönkulutuksen jatkuvaan mittaukseen käytettiin tehomittaria ENTES EPR-04/04s (kuva 4). Niiden toiminta perustuu virtamuuntajiin (kuva 5), jotka asennettiin sähköjohdon ympärille. Sähköjohdossa kulkeva virta saa aikaan johdon ympärille asennetussa muuntajassa jännitteen, joka tallentuu mittarille. Mittari laskee johdossa kulkevan virran avulla tehon ja kulutetun energian määrän.



Kuva 4. ERP-04/04s-mittari suojakotelon sisällä.



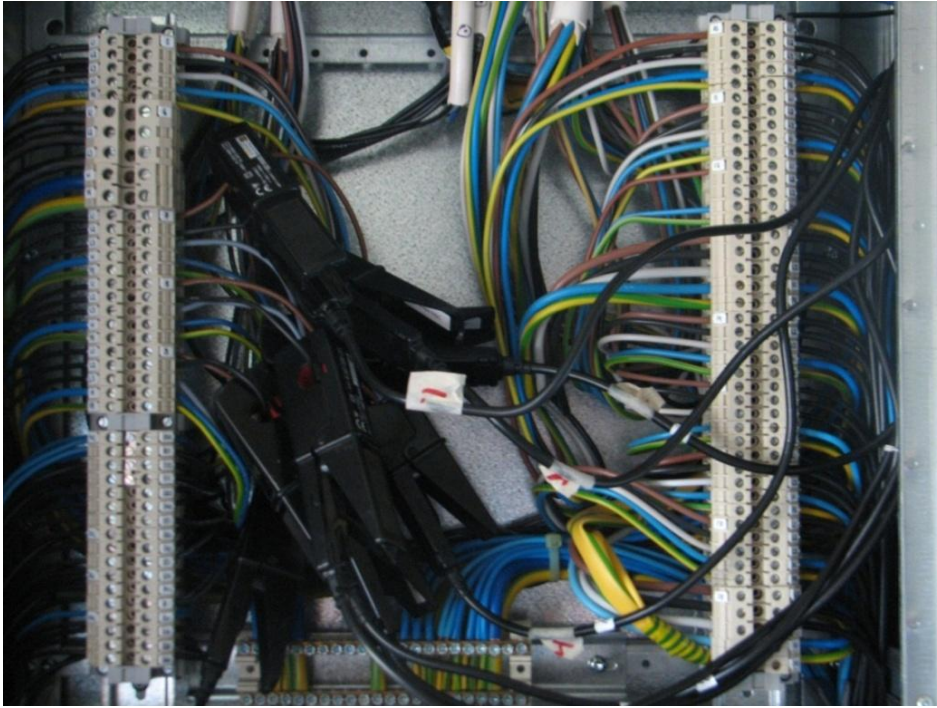
Kuva 5. Energiankulutusmittari EPR-04/04s:n virtamuuntaja asennettuna sähkökaappiin.

Valaistuksen ja ilmanvaihtolaitteiden energiankulutuksessa ei ole yksittäisiä kulutuspiikkejä, jotka vääristäisivät esimerkiksi puolen tunnin välein otettuja virrankulutusnäytteitä. Siitä johtuen voitiin niiden energiankulutusta mitata tallentavalla virrankulutusmittarilla. Tieto kerättiin Hobo-tallentimella (kuva 6).



Kuva 6. Hobo tallennin

Tallentimia varten asennettiin sähkökaappiin hieman pienemmät ja yksinkertaisemmat virtapihdit. Ne toimivat samalla tavalla kuin suuremmat virtamuuntajat (kuva 7).



Kuva 7. Muuntajat Hobo- tallenninta varten.

Lannanpoistokoneen energiankulutus oli tarkoitus mitata erikseen kuukauden mittausjaksolla, koska sen energiankulutus on tasaista ympäri vuoden, mikäli lanta ei jäädy. Mittaus saatiin kuitenkin kahden kuukauden ajanjaksolta. Lannanpoisto hoidetaan kolmella eri koneella. Kaksi näistä on hydraulimoottorilla toimivaa ja yksi on kahdella sähkömoottorilla toimiva. Hydraulimoottoreiden nimellisteho on sama. Ne on kytketty yhtä aikaa toimiviksi. Näiden moottoreiden pätötehoa mitattaessa oli niiden teho ja energiankulutus hyvin lähellä toisiaan, jolloin yhteinen kulutus saatiin mittaamalla se pelkästään toisesta ja kertomalla tulos kahdella.

Tutkimuksessani energiankulutusmittareita oli kytketty kahdenlaisilla kytkennöillä. Viisi mittaria oli kytketty suoraan sähkökaappiin sähkömiehen toimesta(kuva 4). Nämä mittarit mittasivat rehunsekoittimen, rehunjaon ja lannanpoistokoneiden energiankulutusta sekä navetan kokonaiskulutusta. Toiset mittarit voitiin kytkeä laitteen ja pistorasian väliin ilman sähköalan ammattilaista(kuva 8). Näitä mittareita oli kolme kappaletta ja ne oli kytketty maitotankkiin, lämminvesiboileriin ja lypsyrobottiin. Tällainen mittari on kätevä kun kyseessä on pistorasiaan kytketty kone.

Tehomittarit tallensivat energiankulutusta Hobo-tallentimelle. Mittari lähettää energiankulutuspulseja halutuin väliajoin. Pulssin voi säätää yhdestä wattitunnista

aina 100 kilowattituntiin. Suuritehoisesta ja paljon energiaa käyttävästä koneesta riittää, kun energiapulssi lähtee 10 kWh:n välein, kun taas pienikulutuksesta koneesta voi joutua ottamaan pulssit ulos 0,1 kWh:n välein, jotta saataisiin selville tarkat koneen käyttöajankohdat. Mittareiden toiminta tarkastettiin ennen paikalleen asennusta. Säädin mittarin lähettämään pulssin 0,1 kWh:n välein, näin pystyin 3 kW:n tehoisen puhaltimen avulla saamaan puolessa tunnissa 15 pulssia. Tämä riittää mittarin toiminnan tarkistamiseen.” Hobo” luettiin ja tiedot talletettiin noin kerran kuussa.



Kuva 8. Energiankulutusmittari EPR-04/04s asennettuna pistorasian ja laitteen väliin. Päällä on kulutusta tallentava Hobo.

Ilmanvaihdon ja valaistuksen kulutusta mitattiin mittarilla, joka mittasi virtaa tietyin väliajoin.(Kuva 3) Mittari pystyi tallentamaan tietoa. Tutkimuksessa oletetaan, ettei ilmanvaihdossa ja valaistuksessa ole sellaisia kulutuspiikkejä, jotka vääristäisivät tuloksia merkittävästi. Mittari tallensi tiedot millivolteina. Muuntosuhteen mukaan 100 millivolttia on yksi ampeeri. Tästä johtuen oikea ampeerimäärä saadaan kun kerrotaan mittarin antama volttimäärä kymmenellä. Mittaus tapahtuu viiden minuutin välein. Hetkellisen virrankulutuksen ja jännitteen avulla saadaan laskettua teho. Teho

kerrotaan ajalla, esimerkiksi viisi minuuttia, jolloin saadaan viiden minuutin aikainen energiankulutus.

4.2.2 Lämmityksen mittalaitteet

Lämmitykseen käytettävää energiaa mittaamaan asennettiin lämmityspattereiden tulo- ja menopuolille lämpöä mittaavat anturit, jotka tallensivat lämpötilan puolen tunnin välein (kuva 9). Näiden ympärille täytyi tehdä viemäriputkesta suoja, jottei mittalaite vahingoittuisi (kuva 3). Lisäksi mittalaitteen ja suojan välille tuli tahnaa, joka varmisti hyvän kontaktin patteriin. Suojan sisään mittalaitteen ympärille laitoin pellavarivettä eristeeksi.



Kuva 9. Lämpötilan mittaja A-nap.

Jotta saisin tietää laskelmissa tarvittavan lämpimän veden kulkunopeuden putkistossa, kävi YIT:n putkimies mittaamassa virtaukset lämmitysputkista. Virtauksen ja tulo- ja menoveden välillä olevan lämpötilaeron avulla on mahdollista laskea lämmitykseen käytetyn energian määrä. Laskuun käytettiin veden ominaislämpökapasiteettia, tiheyttä, virtausta ja lämpötilaeroa. (Yhtälö 2).

Veden massa (q_m) saadaan kun kerrotaan virtaus m/s putken halkaisijan pinta-alalla ja lopuksi tiheydellä. Tämä laskeaan kaavalla 3.

$$q_m = q * \pi r^2 * \sigma \quad (3)$$

missä

q_m = veden massa

q = veden virtaus m/s

σ = veden tiheys

r = vesiputken säde

Sain lukeman litraa tuntia kohden, mikä helpottaa laskutoimitusta. Riittää kun kertoo tilavuusvirtauksen veden tiheydellä, joka on yksi, niin saadaan riittävän tarkka vastaus massavirtaukselle ($q_m = q_v$). Kun massavirtaus kerrotaan mittausaikavälillä, saadaan mittauspisteiden välillä liikkuneen veden massa tänä aikana. Kun arvo lisätään energian (E) kaavaan lämpötilaeron (T) kanssa, saadaan mittausvälillä käytetty energia. Pattereiden veden lämpötila ei vaihtelee nopeasti, joten mittaus puolen tunnin välein on riittävä.



Kuva 10. Veden lämmön mittari Viikin navetassa.

4.2.3 Polttoaineen kulutus

Polttoaineen kulutus navettatöissä laskettiin koneiden koko vuoden polttoaineen kulutuksen ja navetassa käytetyn polttoaineen määrän perusteella. Koneiden polttoaineen kokonaiskulutus saadaan, kun koneiden kokonaiskulutus kerrotaan navettatöiden tuntimäärän suhteella koneen käyttötyötunteihin. Navetassa käytetään pääsääntöisesti kahta konetta. Toinen on Lundberg 4200 LS kiinteä traktori ja toinen on Merlo 36.7 Top kurottaja. Lundbergin käyttö navetassa on noin 30 % käyttöajasta ja kurottaja on käytännöllisesti katsoen koko ajan käytössä. Näiden koneiden tiedot sain Viikin tilan työntekijältä Eero Lammiselta.

4.2.4 Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian määrä

Viikin navetassa on hiilidioksidipitoisuutta, ilman lämpötilaa ja ilman kosteutta mittaava laitteisto. Viereisen rakennuksen katolla on sääasema, jonka tietoihin pohjautuen sain päivittäisen ulkoilman lämpötilan ja kosteuden. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuuden olen olettanut vakioksi (380 ppm), vaikka pitoisuus vaihtelee jonkin verran vuoden aikana.

4.3. Tiedon keruu

Tieto kerättiin mittaamalla. Tieto, joka saatiin Hobo-tallentimelta, siirrettiin tietokoneelle noin kerran kuukaudessa tallentimen rajoitetun muistikapasiteetin vuoksi. Koneella laskettiin kokonaisenergiankulutus ja verrattiin sitä muihin vastaaviin koetuloksiin. Näin tehden karkeat laskennalliset virheet saatiin eliminoitua.

5 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

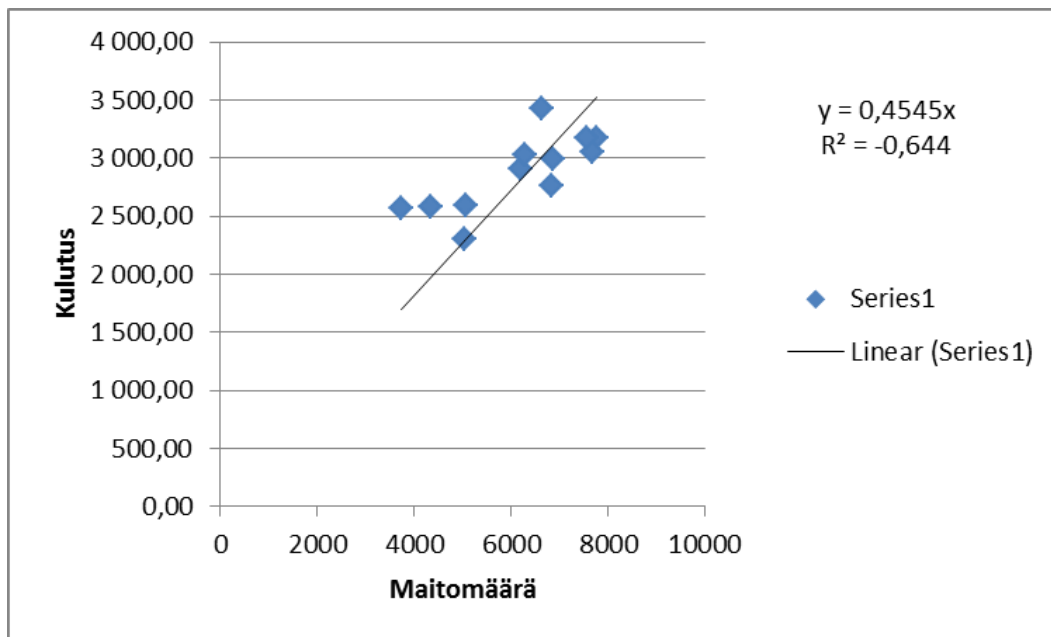
Tulokset käsittävät valitut mittauskohteet. Osasta kohteita saatiin tietoa koko vuoden ajalta ja osasta, ilmeisesti virheellisten asennusten johdosta, vain osalta vuotta. Suuruusluokat ja käyttöajat selviävät kuitenkin suhteellisen hyvin. Lypsyrobotista, lämminvesiboilerista, lypsytankista ja rehunjakokoneistosta sain tiedot vuoden ajalta. Rehunsekoittimen energiankulutuksen mittasin erillisenä. Rehunsekoittimen virrankulutuksen mittaus aloitettiin vasta toukokuussa. Navetan kokonaiskulutuksen mittauksesta luovuin, koska suuri määrä energiaa kului mahdollisesti johonkin muuallekin kuin navettaan. Navetan sähköpiirustuksista en löytänyt kuluttajaa, joka

olisi selvittänyt kokonaisenergiankulutuksen suuret lukemat. Jotta tämän saisi selville, pitäisi sähkökaappi RK4:ään laittaa useita mittareita lisää mittaamaan jokaisen sulakkeen läpi menevää virtaa. Tässä tutkimuksessa ei ollut resursseja eritellä kokonaiskulutusta energiakeskuksesta käsin.

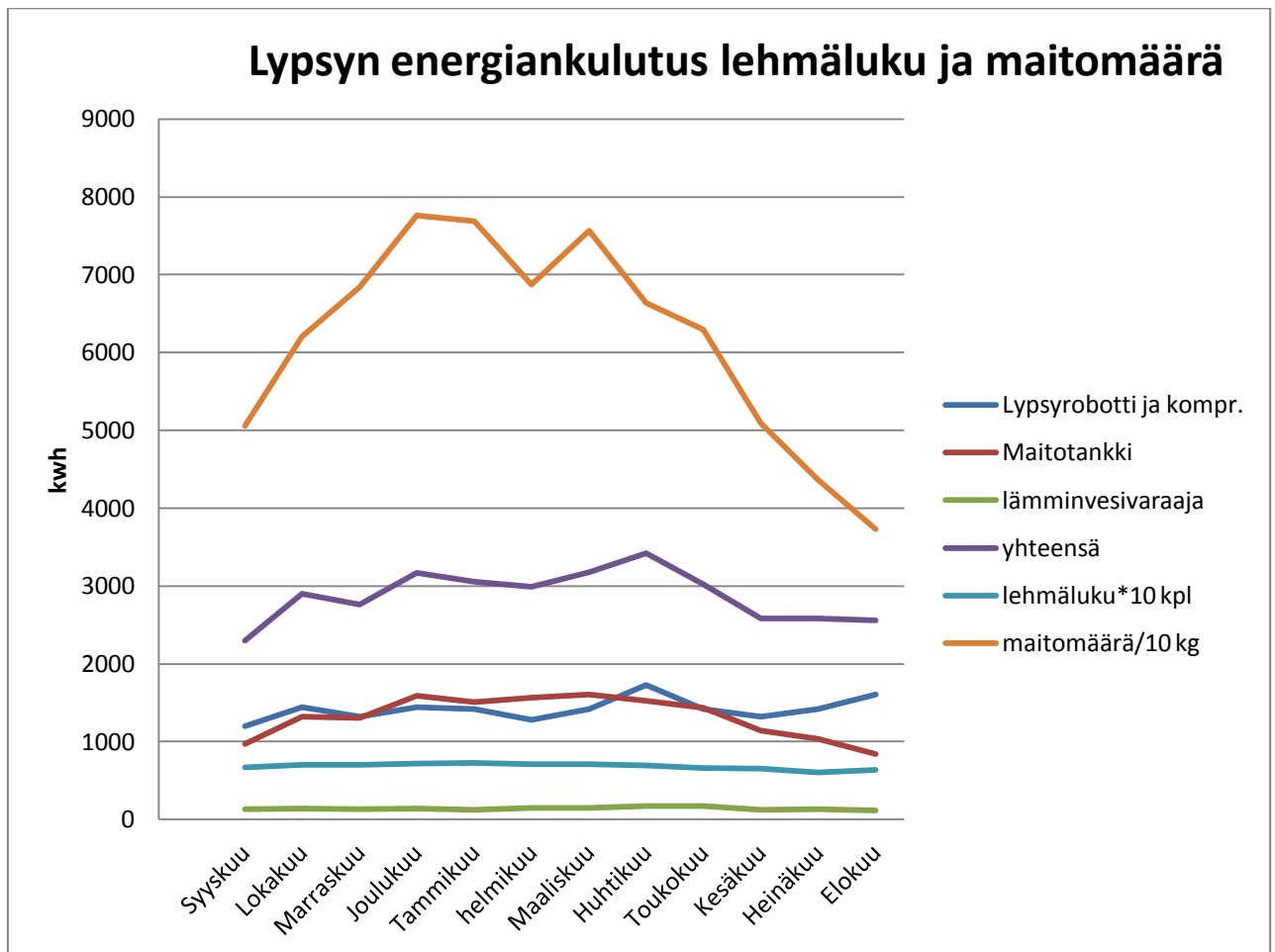
Virheellisistä kytkennöistä johtuen jouduin aloittamaan valaistuksen ja ilmanvaihdon virrankulutuksen mittauksen uudelleen kesäkuussa 2012. Lannanpoiston energiankäytön mittauksen aloitin kesäkuussa 2012. Polttoaineen kulutus koskee vuotta 2011, mutta voidaan olettaa sen olevan riittävän tarkka tätä tutkimusta varten. Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian mittaus oli haastavaa koska lehmät olivat ulkona suurimman osan vuotta. Ilmanvaihdon mittaus perustuu hiilidioksidiin, lämpöenergiaan ja vesihöyryyn jota lehmien hengityksestä ja kehosta vapautuu. Jos lehmiä ei ole sisällä ja laskenta olettaa niiden olevan, ovat tulokset poistuvasta ilmamäärästä reilusti liian suuria.

5.1. Lypsyn energiankulutus

Lypsyn energiankulutuksen muodostivat lypsyrobotti ja sen kompressori, maitotankki ja lämminvesiboileri. Robotin energiankulutus ei ole riippuvainen lehmä- tai maitomäärästä (taulukko 11), mutta lypsytapahtuman kokonaisenergiankulutuksella oli vahva riippuvuus maitomäärään (kuva 11). Maitotankin energiankulutus oli riippuvainen maitomäärästä (kuva 12). Tämän varmistaa myös maitotankin ja maitomäärän korrelaatiokerroin, joka oli 0,94 (taulukko 11). Lypsyn kokonaisenergiankulutus suhteessa maitomäärään oli 0,05 kWh/kg maitoa, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin Hörndahlin (2007) tutkimuksessa saatu lukema (taulukko 5). Lämminvesivaraajan tulos oli 0,002 kWh/kg, mikä on huomattavasti pienempi, kuin Nilssonin (1985) tutkimuksessa (taulukko 6). Tämä johtuu siitä, että robotti lämmitti kokonaan ja maitotankki osittain oman pesuvetensä. Kokonaiskulutus 506 kWh lehmää kohden vuodessa vastaa Hörndahlin (2007) tutkimusta (taulukko 1).



Kuva 11. Energiankulutuksen riippuvuus maitomäärästä Viikin navetassa.



Kuva 12. Viikin navetan lypsyn energiankulutus verrattuna lehmälukuun ja maitomäärään. Lehmäluku *10 tarkoittaa kymmenkertaista lehmämäärää todelliseen verrattuna ja maitomäärä/10 tarkoittaa kymmenesosaa todellisesta maitomäärästä.

Viikin navetan lypsyn osa-alueiden korrelaatiokertoimista huomaa, että maitotankin energiankulutus oli suoraan verrannollinen lehmämäärään ja maidon tuotantomäärään. Korrelaatiokerroin maitotankilla oli 0,94 maitomäärään ja 0,74 lehmämäärään nähden. Lämminvesivaraajan vastaavat luvut olivat 0,47 ja 0,26 mikä merkitsee pienempää riippuvuutta. Robotin luvut 0,01 ja 0,26 lehmämäärään ja maitomäärään nähden ovat yllättävän pieniä. (Taulukko 11).

Taulukko 11.Viikin navetan lypsytapahtumien korrelaatiokertoimia.

	Lypsyrobotti ja kompressori	Maitotankki	Boileri	yhteiskulutus
lehmämäärä kpl	-0,07	0,77	0,26	0,61
maitomäärä kg	-0,04	0,94	0,47	0,77
Robotin lehmämäärä kpl	0,26			
Robotin maitomäärä kg	-0,01			

Lypsyrobotti vei eniten energiaa lypsytapahtumassa. Tämä kulutti 17006 kWh vuodessa (taulukko 12). Maitotankki vei energiaa 15832 kWh (taulukko 13).

Lämmivesivaraaja kulutti 1681 kWh energiaa, mikä on selvästi vähiten lypsytapahtumien osa-alueista (taulukko 14).

5.1.1. Lypsyrobotti

Lypsyrobotin tulokset perustuivat lypsrobotin tallentamiin tietoihin maitomäärästä ja lehmien lukumäärästä, sekä lypsrobotin ja kompressorin energiankulutuksesta. Robotilla käyneiden lehmien määrä oli eri kuin koko navetan lehmämäärä. Vaihtelua energian kulutuksessa oli 20,6–29,0 kW/lehmä/kuukausi. Suurinta kulutus oli heinäkuussa ja pienintä helmikuussa. Jos lasketaan energiankulutus maitokiloa kohti, saadaan vaihteluväliksi 0,020–0,039 kWh/vuosi. Maitokiloa kohden kulutus oli suurinta elokuussa ja pienintä marraskuussa. (Taulukko 12).

Taulukko 12. Lypsyrobotin ja kompressorin energiankulutus.

Lypsyrobotti			
Kuukausi	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	1199	0,026	25,6
lokakuu	1441	0,023	24,5
marraskuu	1320	0,021	23,7
joulukuu	1441	0,021	24,5
tammikuu	1419	0,020	21,9
helmikuu	1276	0,020	20,6
maaliskuu	1419	0,021	22,2
huhtikuu	1727	0,023	22,2
toukokuu	1419	0,024	22,2
kesäkuu	1320	0,030	25,3
heinäkuu	1419	0,035	29,0
elokuu	1606	0,039	27,9
vuosi	17006	0,025	289,7

5.1.2. Maitotankki

Maitotankin energiankulutus oli pienimmillään kuukaudessa 13,1 kWh/lehmä ja suurimmillaan 22,6 kWh/lehmä. Maidontuotokseen suhteutettuna kulutus kuukaudessa oli 0,019 – 0,024 kWh/kg maitoa. Vuotuinen kulutus oli 15832 kWh. Maitokiloa kohti kulutus oli 0,021 kWh ja lehmää kohti 232 kWh vuodessa.

Taulukko13. Viikin maitotankin energiankulutus.

Kuukausi	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	968	0,019	14,4
lokakuu	1322	0,021	18,9
marraskuu	1304	0,019	18,6
joulukuu	1586	0,020	22,0
tammikuu	1507	0,020	20,6
helmikuu	1564	0,023	22,0
maaliskuu	1609	0,021	22,7
huhtikuu	1526	0,023	22,1
toukokuu	1436	0,023	21,8
kesäkuu	1139	0,022	17,5
heinäkuu	1033	0,024	17,2
elokuu	838	0,022	13,1
vuosi	15832	0,021	232,3

5.1.3 Lämminvesivaraaja

Lämminvesivaraajan energiankulutus maitokiloa kohti oli 0,002–0,003 kWh kuukaudessa. Lehmää kohti vaihteluväli oli 1,8 – 2,6 kWh kuukaudessa. Energiankulutus oli vuodessa 1681 kWh. Lehmää kohti tämä tarkoitti 34,7 kWh:a ja maitokiloa kohti 0,002 kWh koko vuoden aikana.(Taulukko14).

Taulukko 14. Viikin lämminvesiboilerin energiankulutus.

Kuukausi	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	129	0,003	1,9
lokakuu	139	0,002	2,0
marraskuu	134	0,002	1,9
joulukuu	141	0,002	2,0
tammikuu	127	0,002	1,7
helmikuu	148	0,002	2,1
maaliskuu	150	0,002	2,1
huhtikuu	170	0,003	2,5
toukokuu	170	0,003	2,6
kesäkuu	127	0,002	2,0
heinäkuu	128	0,003	2,1
elokuu	118	0,003	1,8
vuosi	1681	0,002	24,7

5.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihdon energiankulutuksen mittaus aloitettiin kesäkuussa 2012 ja koko vuoden kulutus on laskettu näiden heinä- ja elokuun 2012 keskiarvon mukaan. Ilmanvaihdon kokonaiskulutus oli 13080 kWh (taulukko15). Lehmää kohti kulutus oli 191,9 kWh vuodessa ja maitokiloa kohti luku oli 0,018 kWh/vuosi. (Taulukko 15). Kulutus oli ainakin kaksin tai kolminkertainen verrattuna aikaisempiin Hörndah (2007), Nilsson (1985) tutkimuksiin (taulukot 6 ja 8). Tulokseen vaikuttaa ilmeisesti myös se, että talven mittaustulokset puuttuvat. Talvella ilmanvaihdon tarve on pienempi. Kulutusvaihteluksi sain kuukaudessa 15,7 – 16,9 kWh/lehmä. Maitokiloa kohti energiankulutus oli välillä 0,014 – 0,030 kWh/kuukausi. (Taulukko 15).

Taulukko 15. Viikin navetan ilmanvaihdon energiankulutus

Kuukausi	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	1090	0,022	16,3
lokakuu	1090	0,018	16,3
marraskuu	1090	0,016	16,3
joulukuu	1090	0,014	16,3
tammikuu	1090	0,014	16,3
helmikuu	1090	0,016	16,3
maaliskuu	1090	0,014	16,3
huhtikuu	1090	0,016	16,3
toukokuu	1090	0,017	16,3
kesäkuu	1090	0,021	16,3
heinäkuu	1050	0,024	15,7
elokuu	1130	0,030	16,9
vuosi	13080	0,018	191,9

Energiankulutuksen osalta ovat taulukossa heinä- ja elokuun mittaustulokset.

Näiden keskiarvon perusteella on laskettu muiden kuukausien tulokset.

5.3 Lämmitys

Lämmitys kulutti energiaa 30606 kWh. Lämmitystä käytettiin talviaikana, joten energiankulutuksen mittausaika oli syyskuusta toukokuun puoleenväliin. Keskitalvella tammikuussa kulutus oli suurinta, 5154 kWh. (Taulukko 16). Lämmityksen suuruus yllätti, vaikkei se lehmien lämmitysenergiaan (yli 500000 kWh) verrattuna kovin suurelta vaikuta. Maitokiloa kohden tulos oli 0,41 kWh vuodessa ja lehmää kohti tulos oli 449 kWh vuodessa. (Taulukko 16). Etelä-Suomessa on laskennallinen lämmityksen tarve noin 22,5 kWh/ lehmäpaikka (Posio 2010), joten tämän tulos ylittyi reilusti. Viikin navetan tulokset on mitattu pattereista suoraan, joten se on suoraa energiankulutusta. Lämmön tuotossa ja siirrossa hukkaantunutta energiaa ei ole otettu huomioon.

Taulukko 16. Viikin navetan lämmityksen energiankulutus.

Kuukausi	yhteensä kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	1512	0,030	22,6
lokakuu	2103	0,034	30,0
marraskuu	3611	0,053	51,6
joulukuu	4101	0,053	57,0
tammikuu	5154	0,067	70,6
helmikuu	5030	0,073	70,8
maaliskuu	4459	0,059	62,8
huhtikuu	3718	0,056	53,9
toukokuu	919	0,015	13,9
kesäkuu		0,000	0,0
heinäkuu		0,000	0,0
elokuu		0,000	0,0
vuosi	30607	0,041	449,0

5.4. Lämminvesi

Lämpimän käyttöveden energiankulutus mitattiin vain lämminvesivaraajasta. Lämminvesivaraajan energiankulutus näkyy lypsytapahtuman energiankulutustaulukossa. Putkilypsykoneen pesuautomaatti lämmittää itse vetensä ja lämminvesivaraaja toimii lypsytankin lämminvesilisänä. Maitotankin pesuveden kuluttama energia sisältyi maitotankin energiankulutukseen ja lypsyrobotin pesuveden kuluttama energia sisältyi lypsyrobotin energiankulutukseen.

5.5. Valaistus

Valaistuksen kokonaiskulutus oli 56132 kWh vuodessa. Valaistuksen mittaus aloitettiin kesäkuussa 2012. Mittaus kattaa kaksi kuukautta, jonka mukaan koko vuoden kulutus on laskettu. Valaistuksen energiankulutus mitattiin osasta valaisimia. Koska kaikki valaisimet ovat päällä yhtä aikaa ja niiden teho on sama, voidaan tulos kertoa valaisimien kokonaismäärän suhteella mittauksessa oleviin valaisimiin. Silloin saadaan kattava tulos. Koko vuoden laskennallinen kulutus perustuu kesän mittaustuloksiin ja on siksi epävarma. Kesällä valaistusta tarvitaan kuitenkin vähemmän, joten arvio ei ainakaan ole liian suuri. Valaistuksen kuluttama energia oli melkein nelinkertainen verrattuna Hörndahl (2007) tutkimukseen (taulukko 5).

Kulutus lehmää kohti oli 823 kWh ja maitokiloa kohti 0,076 kWh vuodessa. Vaihteluväli kuukaudessa oli 0,061 – 0,124 kWh/kg maitoa. Lehmää kohti kulutus oli noin 70 kWh. Maitokiloa kohden kulutus oli 0,076 kWh ja lehmää kohden 823 kWh. (Taulukko 17).

Taulukko 17. Viikin navetan valaistuksen energiankulutus.

Kuukausi	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	4678	0,092	69,8
lokakuu	4678	0,075	66,8
marraskuu	4678	0,068	66,8
joulukuu	4678	0,060	65,0
tammikuu	4678	0,061	64,1
helmikuu	4678	0,068	65,9
maaliskuu	4678	0,062	65,9
huhtikuu	4678	0,071	67,8
toukokuu	4678	0,074	70,9
kesäkuu	4678	0,092	72,0
heinäkuu	4720	0,108	78,7
elokuu	4635	0,124	72,4
vuosi	56132	0,076	823,4

Energiankulutuksen osalta taulukossa ovat heinä- ja elokuun mittaustulokset. Näiden keskiarvon perusteella on laskettu muiden kuukausien tulokset.

5.5. Rehunjako

Viikin rehunjaossa on kolme eri osa-aluetta. Nämä ovat apesekoitin, jakelukoneisto ja polttomoottorikäyttöiset koneet. Apesekoitin ja jakelukoneisto käyttävät sähköä ja polttomoottorit dieselöljyä energianlähteenä. Rehunjakokoneisto ja lannanpoisto käyttävät melkein täysin ryhmäkeskus RK3.1 kautta kulkeneen energian, joka oli mitattu koko vuodelta. Laskin syyskuusta 2011 kesäkuuhun 2012 rehunjakokoneiston energiankulutuksen jakamalla rehunjakokoneiston heinä-elokuun kulutuksen rehunjakokoneiston (E_r) ja lannanpoiston (E_l) yhteisellä kulutuksella tällä ajalla ja kertomalla tämän RK3.1:n kautta kulkeneella energiamäärällä (E_{RK}), (kulutus = $\frac{E_r}{E_l + E_r} \times E_{RK}$). Talven kulutus on laskennallinen perustuen kesäajan rehunjakokoneiston ja lannanpoiston energiankulutuksen suhteeseen. Apesekoittimen koko vuoden mittaus perustui heinä-elokuun mittauksiin. Muulle ajalle laitoin noiden kahden kuukauden keskiarvon, jotta suuruusluokka pitäisi

paikkaansa. Käsittelin koneiden polttoaineen kulutuksen omana ryhmänä. Niiden polttoaineen kulutus liittyy pääosin rehun käsittelyyn ja liikutteluun.

Lehmää kohti rehunjako käytti 615 kWh energiaa vuodessa. Maitokiloa kohden kului rehujaossa 0,057 kWh energiaa vuodessa. Apesekoitin käytti energiaa 8264 kWh vuodessa. Apesekoittimen kulutuksen vaihteluväli maidontuotantoon verrattuna oli 0,09 – 0,22 kWh/kg maitoa kuukaudessa. (Taulukko 18).

Jakokoneisto käytti 11928 kWh energiaa vuodessa (taulukko 19) ja polttoaineen käytössä kului 21400 kWh energiaa vuodessa (taulukko 21). Kun laskin kokonaisenergiankulutukselle kuukausien mukaan korrelaatiokertoimet sekä maitomäärän että lehmäluvun mukaan, sain arvoiksi -0,81 ja -0,76. Eli energiankäyttö rehujaossa oli kääntäen verrannollinen lehmälukuun tai maitomäärään. Tämä on mielenkiintoinen luku, koska maitomäärän ja lehmäluvun kasvaessa rehunjaon energiankulutus pienenee. Kesällä rehunjaonkulutus on suurimmillaan, mikä voi aiheutua rehun erilaisesta rakenteesta.

Taulukko 18. Viikin navetan apesekoittimen energiankulutus.

Kuukausi	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	719	0,014	10,7
lokakuu	719	0,012	10,3
marraskuu	719	0,011	10,3
joulukuu	719	0,009	10,0
tammikuu	719	0,009	9,8
helmikuu	719	0,010	10,1
maaliskuu	719	0,010	10,1
huhtikuu	719	0,011	10,4
toukokuu	719	0,011	10,9
kesäkuu	719	0,014	11,1
heinäkuu	623	0,014	10,4
elokuu	815	0,022	12,7
vuosi	8 628	0,012	126,6

Energiankulutuksen osalta taulukossa ovat heinä- ja elokuun mittaustulokset. Näiden keskiarvon perusteella on laskettu muiden kuukausien tulokset.

Rehunjakokoneiston energiankulutuksen vaihteluväli oli 0,008–0,035 kWh/kg maitoa ja 7,5–25,1 kWh/lehmä kuukaudessa. Rehujakokoneisto kulutti energiaa vuodessa 0,016 kWh/maitokilo ja 175 kWh/ lehmä. (Taulukko 19).

Taulukko 19. Viikin navetan rehunjakokoneiston energiankulutus.

Kuukausi	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	1 143	0,023	17,1
lokakuu	1 056	0,017	15,1
marraskuu	1 024	0,015	14,6
joulukuu	773	0,010	10,7
tammikuu	757	0,010	10,4
helmikuu	530	0,008	7,5
maaliskuu	944	0,012	13,3
huhtikuu	821	0,012	11,9
toukokuu	1 199	0,019	18,2
kesäkuu	948	0,019	14,6
heinäkuu	1 507	0,035	25,1
elokuu	1 226	0,033	19,2
vuosi	11 928	0,016	175,0

Heinä- ja elokuun mittaus perustuu RK 3.1:n ja lannanpoistokoneiden energiankulutuksen erotukseen. Muu kulutus perustuu rehunjaon ja lannanpoiston suhteeseen heinä- ja elokuussa, sekä RK3.1:n mittaustuloksiin.

Kokonaisenergiankulutus rehunjaossa oli 0,046–0,103 kWh/maitokilo ja 42,7–65,3 kWh/lehmä kuukaudessa (taulukko 20). Rehunjaon energiankulutus oli samaa suuruusluokkaa kuin Hörndahlin (2007) tutkimuksessa. Siinä eniten rehunjaossa energiaa käyttävässä navetassa käytettiin rehunjakoon energiaa 652 kWh/lehmä/vuosi (taulukko 8).

Taulukko 20. Viikin navetan rehunjaon kokonaisenergiankulutus.

kuukausi	Rehunjako ja apes.	poltto- aine	yhteensä kWh	maitoa kg	lehmä määrä	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
Syyskuu	1 862	1785	3648	50610	67	0,072	54,4
Lokakuu	1 775	1785	3560	62031	70	0,057	50,9
Marraskuu	1 743	1785	3528	68370	70	0,052	50,4
Joulukuu	1 492	1785	3277	77624	72	0,042	45,5
Tammikuu	1 476	1785	3261	76860	73	0,042	44,7
helmikuu	1 249	1785	3034	68712	71	0,044	42,7
Maaliskuu	1 663	1785	3448	75640	71	0,046	48,6
Huhtikuu	1 540	1785	3325	66348	69	0,050	48,2
Toukokuu	1 918	1785	3703	62920,7	66	0,059	56,1
Kesäkuu	1 667	1785	3452	50880	65	0,068	53,1
Heinäkuu	2 130	1785	3915	43635,6	60	0,090	65,3
Elokuu	2 041	1785	3826	37324	64	0,103	59,8
vuosi	20 556	21 422	41978	740 955	68	0,057	615,8

Heinä- ja elokuu ovat mittaustuloksia. Muilta osin tulokset ovat arvioita heinä- ja elokuun mittaustulosten perusteella.

Polttoaineen kulutus arvioitiin koneen käyttömäärien mukaan. Kurottaja oli täysin navetan käytössä. Lundberg-traktorin työntekijät arvioivat olevan käytössä noin 30 % ajasta. Koneet olivat enimmäkseen rehunhaussa tai jaossa, joten niiden polttoaineen kulutuksen liitin rehunjaon energiankulutukseen. Lundberg kulutti 1783 kWh ja kurottaja tarvitsi 19639 kWh vuodessa. (Taulukko 21).

Taulukko 21. Viikin navetan koneiden käyttötunnit, käyttöaste ja energiankulutus 2011 (Eero Lamminen 2012).

Käyttö	Kone	Polttoaine l	Energia MJ/l	Kulutus MJ/v	kWh/vuosi
30 %	Lundberg 4200 LS kiint. tr.	183,42	35	6420	1783
100 %	Merlo 36.7 Top kurottaja	2020	35	70700	19639
	yhteensä	2631,4		77120	21422

5.6. Lannanpoisto

Lannanpoiston energiankäyttö koostuu Viikissä kahdesta eri osa-alueesta. Navetassa on hydraulimoottoreilla toimiva osa ja sähkömoottoreilla toimiva vaijerivetoinen osa. Lannanpoiston varsinainen mittaus alkoi kesäkuussa 2012. Rehunjaon osiossa (s.45) selitin miten lannanpoiston energiankulutus on laskettu. Hydraulimoottoreita on kaksi. Ne on kytketty siten, että ne lähtevät käyntiin yhtä aikaa. Moottoreiden teho on sama. Mittaus suoritettiin vain toisesta moottorista ja tulos kerrottiin kahdella. Yksi hydraulimoottori kulutti 3147 kWh/vuosi, jolloin yhteiskulutus hydraulimoottoreilla oli 6294 kWh vuodessa (taulukko 22). Vaijerivetoinen koneisto kulutti 14865 kWh (taulukko 23). Yhteinen energiankulutus lehmää kohti oli 310,4 kWh vuodessa. Maitokiloa kohden kulutus oli yhteensä 0,029 kWh vuodessa. Korrelaatiokerroin oli maitomäärää kohti -0,77 ja lehmälukua kohti -0,75, eli lannan poiston energiankulutus on kääntäen verrannollinen lehmälukuun ja maitomäärään. Tämä ei vaikuta kovin järkevältä. Korrelaatiokertoimesta voi huomata, että lannanpoiston energianmittaus ei anna täysin tyydyttävää tulosta. Kulutus oli kahdeksan kertaa suurempi lehmää kohden verrattuna Hörndahlin (2007) tutkimuksiin (taulukko 1). Vaijerivetoisen lannanpoistokoneen kahden sähkömoottorin yhteinen teho on yhteensä 800 wattia, joten sähkömoottorit eivät voi mitenkään kuluttaa kaikkea energiaa vaikka ne toimisivat koko ajan. Jos ne kävisivät vuoden

tauotta, olisi niiden kokonaisenergiankulutus $\frac{24 \times 362 \times 800}{1000}$ kWh=6950kWh. Tämä oli huomattavasti vähemmän kuin 14000 kWh, minkä mittari antoi. Mittari oli asennettu paikkaan, joka mittasi ohjausyksikön ja moottoreiden kokonaiskulutusta. Joko ohjausyksikkö vei paljon virtaa, virtaa meni muualle kuin lannanpoistoon tai mittari oli virheellisesti asennettu.

Energiankulutus hydraulisessa lannanpoistossa oli 0,004–0,021 kWh/kg maitoa kuukaudessa. Lehmää kohti kulutus oli 6,1–11,9 kWh kuukaudessa. Maitokiloa kohden oli kulutus 0,008 kWh ja lehmää kohden 92,3 kWh vuodessa. (Taulukko 22).

Taulukko 22. Viikin navetan hydraulisen lannanpoiston energiankulutus.

Aika	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	603	0,012	9,0
lokakuu	557	0,009	8,0
marraskuu	540	0,008	7,7
joulukuu	408	0,005	5,7
tammikuu	399	0,005	5,5
helmikuu	280	0,004	3,9
maaliskuu	498	0,007	7,0
huhtikuu	433	0,007	6,3
toukokuu	633	0,010	9,6
kesäkuu	500	0,010	7,7
heinäkuu	642	0,015	10,7
elokuu	800	0,021	12,5
vuosi	6294	0,008	92,3

Heinä- ja elokuun mittaus perustuu yhden hydraulisen lannanpoistokoneen energiankulutuksen mittaukseen, ja sen kertomiseen kahdella. Muu kulutus perustuu rehunjaon ja lannanpoiston suhteeseen heinä- ja elokuussa, sekä RK3.1:n mittaustuloksiin.

Viikin navetan vaijerivetoisen lannanpoiston energiankulutus oli 0,010 – 0,048 kWh/maitokilo ja 9,9 – 26,6 kWh/lehmä kuukaudessa. Kulutus maitokiloa kohden oli 0,020 ja lehmää kohden 218 kWh vuodessa. (Taulukko23).

Taulukko 23. Viikin navetan vaijerivetoisen lannanpoiston energiankulutus.

Aika	kWh	kWh/kg maitoa	kWh/lehmä
syyskuu	1425	0,028	21,3
lokakuu	1316	0,021	18,8
marraskuu	1276	0,019	18,2
joulukuu	963	0,012	13,4
tammikuu	943	0,012	12,9
helmikuu	660	0,010	9,3
maaliskuu	1177	0,016	16,6
huhtikuu	1023	0,015	14,8
toukokuu	1494	0,024	22,6
kesäkuu	1182	0,023	18,2
heinäkuu	1622	0,037	27,0
elokuu	1784	0,048	27,9
vuosi	14865	0,020	218,1

Heinä- ja elokuusta on olemassa mittaustulokset. Muu kulutus perustuu rehunjaon ja lannanpoiston suhteeseen heinä- ja elokuussa, sekä RK3.1:n mittaustuloksiin.

5.7 Ilmanvaihdon kautta poistuva energia

Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian mittauksessa käytettiin tietoja ulko- ja sisäilman lämpötilasta, kosteudesta ja hiilidioksidipitoisuudesta. Lopullisissa laskuissa käytin vain vesipitoisuutta ja energiasisältöä, koska näiden perusteella laskettu ilmanvaihto vaikutti yhtenevältä. Hiilidioksidin tuotos oli laskettu lehmien kokonaisenergiantuoton mukaan, joten hiilidioksidipitoisuuden perusteella lasketussa ilmanvaihdon määrässä oli myös yksi virhemarginaali enemmän kuin lehmien kokonaisenergiantuoton mukaan lasketussa ilmanvaihdon määrässä. Koska lämpö johtuu jonkin verran rakenteiden läpi, on lämpöenergiantuotoksen avulla laskettu ilmanvaihdon määrä alhaisempi kuin todellinen ilmanvaihdon määrä.

Lehmämäärät ja tuotokset, jotka vaikuttavat tuotettuun lämpöenergian ja veden määrään sain navetan kirjanpidosta. Lehmien lämmöntuoton, ulko- ja sisäilman lämpösisällön avulla lasketun ilmanvaihdon kautta poistuvan energian määrä oli 584000 kWh. Lehmäluvun perusteella lasketun ilmaan tuotetun veden, ulko- ja sisäilman vesisisällön avulla lasketun ilmanvaihdon kautta poistuneen energian määrä oli 706000 kWh. (Taulukko 24). Energian poistuma on laskettu ulko- ja sisäilman entalpian avulla, jonka vuoksi laskuissa on käytetty lehmien kokonaisenergiantuottoa. Nämä luvut vastaavat noin 40 – 60 omakotitalon vuotuista

energiankulutusta Suomessa. Poistuvan energian määrä riippui vahvasti maitomäärästä ja lehmäluvusta. Korrelaatiokerroin oli 0,89 sekä maitomäärään että lehmämäärään verrattaessa. Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian määrän lasku perustui lehmälukuun ja maidon tuotantomääriin, joten tämä tulos oli odotettu.

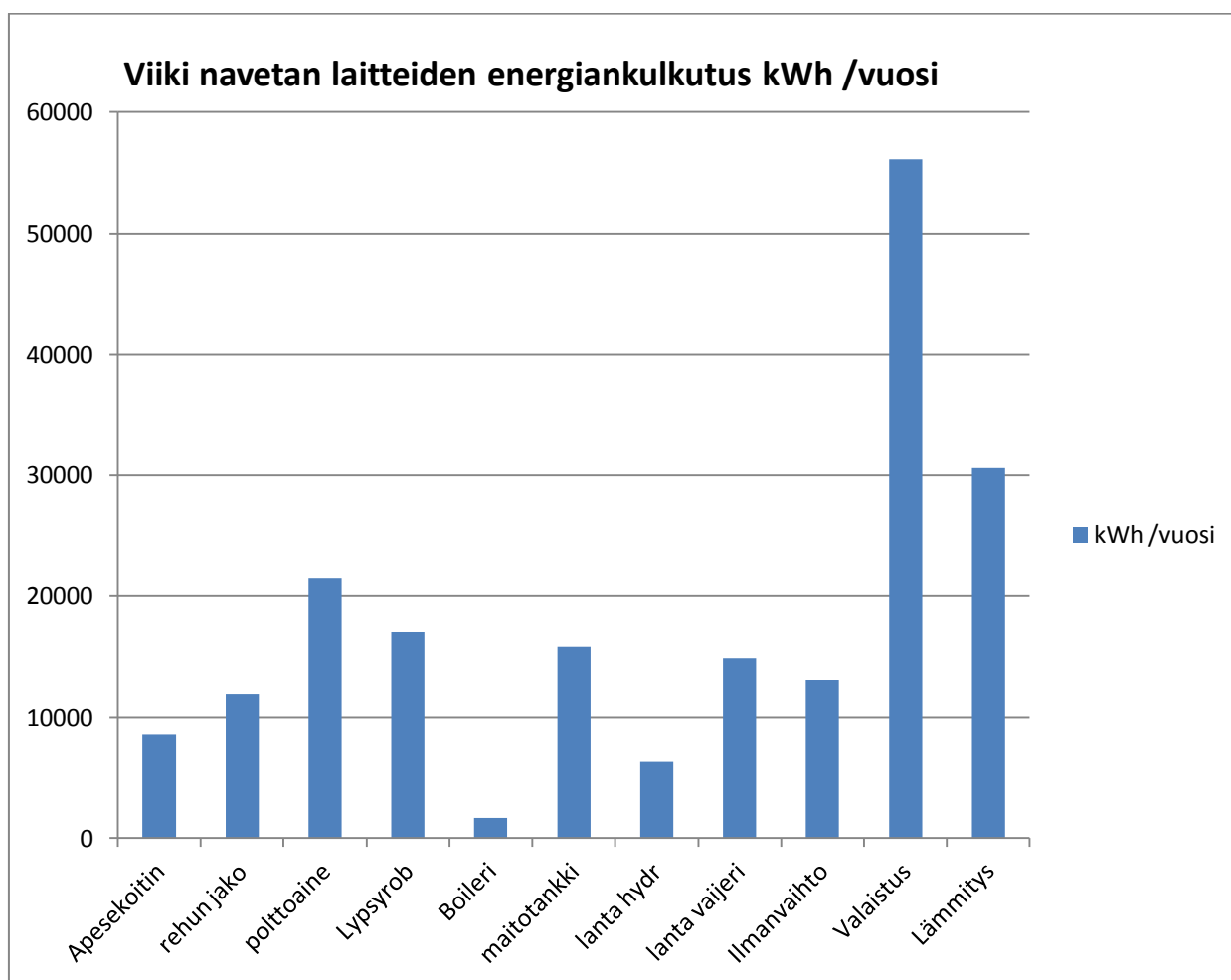
Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian tuottivat pääosin lehmät. Ilmaan tulevan vesimäärän sain laskennallisesti lehmämäärän mukaan. Koska laskin ilmanvaihdon määrän ilman sisäilman ja ulkoilman vesisisällön ja lämpösisällön mukaan, sain kaksi eri tulosta. Kuukausittainen energianpoistuma vaihteli lämpösisällön mukaan laskettuna 38000 kWh:sta 59000 kWh: iin. Vesitaseen mukaan laskettuna vaihteluväli oli 49000 – 72000 kWh kuukaudessa. (Taulukko 24).

Taulukko 24. Ilmanvaihdon kautta poistuva energia

Aika	Lämpötaseen mukaan kWh	Vesitaseen mukaan kWh
2011		
syyskuu	38744	46890
lokakuu	54636	66123
marraskuu	54646	66135
joulukuu	56938	68909
2012		
tammikuu	59443	71941
helmikuu	52355	63363
maaliskuu	54428	65871
huhtikuu	48745	58994
toukokuu	44659	54048
kesäkuu	38710	46849
heinäkuu	39522	47832
elokuu	40866	49458
vuodessa	583693	706413

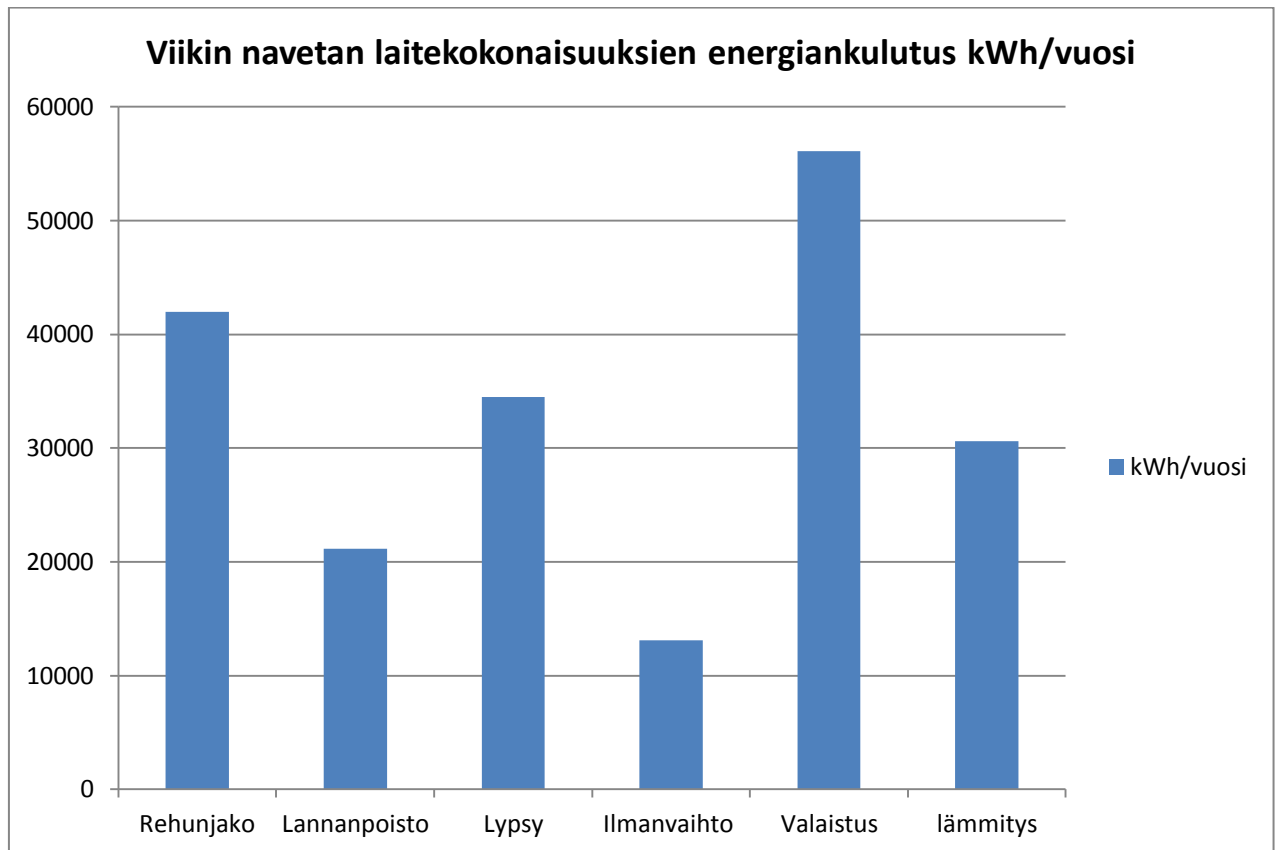
5.8 Yhteenveto tuloksista

Viikin navetan laitteista eniten energiaa kulutti valaistus. Se oli ylivoimaisesti suurin yksittäinen energiankuluttaja, 56132 kWh vuodessa. Ilmeisesti koenavetassa täytyy olla normaalia enemmän valoa. Rakennus on myös korkea mikä lisää valaistuksen tarvetta. Seuraavaksi eniten meni energiaa lämmitykseen (30607 kWh). Moottoriajoneuvojen polttoaineisiin meni seuraavaksi eniten energiaa, jonka jälkeen tuli lypsyrobotti. Maitotankki ja vaijerivetoinen lannanpoisto kuluttivat suunnilleen saman verran, noin 15000 kWh. Ilmanvaihto, rehunjakokoneisto ja apesekeitin veivät seuraavaksi eniten energiaa, ne kuluttivat suunnilleen 10000 kWh. Hydraulinen lannanpoisto kulutti selvästi vähemmän (6200 kWh) kuin vaijerikoneisto (14865 kWh), vaikka oletin muuta. (kuva13). Suomessa käytetään omakotitaloissa energiaa 10000 – 30000 kilowattituntia, eli jokaisella navetan osa-alueella käytetään merkittävä määrä energiaa. Koska osa talven kulutuksesta on laskettu kesän energiankäytön perusteella, ovat mittaustulokset näiltä osin suuntaa antavia.



Kuva 13. Viikin navetan laitteiden energiankulutus

Jos katsotaan laitekokonaisuuksia, saadaan **lypsyn, lannanpoiston, rehunjaon, valaistuksen, lämmityksen ja ilmanvaihdon** tulokset. Yhä edelleen valaistus on suurin energiankuluttaja, mutta ei yhtä selvästi. Rehunjaon energiankulutus oli lähimpänä valaistusta, 42000 kWh. Lypsytahtuma käytti 35000 kWh, lämmitykseen meni energiaa 30000 kWh ja lannanpoistoon 21000 kWh. Ilmanvaihtoon kului 13080 kWh. (kuva 14). Näiden mitattujen kohteiden yhteiskulutus oli 197475 kWh.



Kuva 14. Viikin navetan laitekokonaisuuksien energiankulutus.

Aikaisemmassa tutkimuksessa Hörndahl (2007) **kokonaiskulutus** lehmää kohti oli 1000–1500 kWh/vuosi (taulukko 1). Tähän verrattuna tulos 2890 kWh/lehmä/vuosi vaikuttaa aika suurelta. Maitokiloa kohti 0,267 kWh/vuosi on kaksinkertainen verrattuna aikaisempaan tutkimukseen. **Valaistuksen** vuotuinen energiankulutus 823 kWh/lehmä ja 0,076 kWh/maitokilo on yli kolminkertainen verrattuna Hörndahl (2007) tutkimukseen. **Lannanpoiston** energiankulutus vaikutti myös varsin suurelta. Energiankulutus oli 310 kWh/lehmä/vuosi, joka oli kahdeksan kertainen Hörndahlin (2007) tutkimukseen verrattuna. **Ilmanvaihdon** energiankulutus 191,9 kWh/lehmä/vuosi ja 0,018 kWh/kg maitoa/vuosi oli yli kaksinkertainen verrattuna aikaisempaan tutkimukseen. **Lämmityksen** energiankulutus oli 449 kWh/lehmä/vuosi

ja 0,041 kWh/maitokilo/vuosi. Tämä on paljon suurempi kuin Posion (2010) laskema energiankulutus, mutta pienempi kuin Virtanen ym (2005) tekemässä tutkimuksessa.

Samaa suuruusluokkaa vuotuisessa energiankulutuksessa kuin aikaisemmat tutkimukset on **rehunjaon** energiankulutus 615 kWh/lehmä ja 0,057 kWh/kg maitoa, sekä **lypsyn** vuotuinen energiakulutus 506 kWh/lehmä ja 0,047 kWh/kg maitoa.

Taulukko 26. Viikin navetan energiankulutuksen mittauksen yhteenveto.

	Rehunjako	Lannanpoisto	Lypsy	Ilmanvaihto	Valaistus	Lämmitys	Yhteensä
kWh/vuosi	41978	21159	34519	13080	56132	30607	197475
kWh/kg maitoa/vuosi	0,057	0,029	0,047	0,018	0,076	0,041	0,267
kWh/ lehmä/vuosi	615,8	310,4	506,4	191,9	823,4	449,0	2896,9

5.9 Tavoitteet

Ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää Viikin koenavetan suoraa energiankulutusta, ilmanvaihdon kautta poistuvaa energiamäärää ja mahdollisia energian säästön kohteita. Mittaukset saatiin suoritettua koko vuoden ajalta lypsyrobotin, maitotankin, lämminvesiboilerin, lämmityksen ja ilmanvaihdon kautta poistuvan energian osalta. Rehunjakokoneiston ja lannanpoiston energiankulutus mitattiin osalta vuotta yhteismitallisesti ja kahden kuukauden ajalta erikseen.

Apesekoittimen energiankulutus on mitattu kahden kuukauden ajalta. Loppu vuosi on laskettu näiden kahden kuukauden keskiarvon mukaan. Talvikauden mittausten puuttuminen harmittaa, koska jäisen rehun käsittelyn olettaisin kuluttavan eri tavalla energiaa kuin sulan rehun. Rehunjaon energiankulutukseen kuuluu myös kurottajan ja traktorin polttoaineen kulutus. Kurottajan osalta kulutus on selvä, mutta traktorin käyttöprosentti ei ole tarkka, jonka vuoksi myös sen energiankulutus on epätarkka. Rehunjakokoneiston kulutuksen laskennan riippuvuus lannanpoiston energiankulutuksen mittauksesta, aiheuttaa epävarmuutta mittaustulokseen. Rehunjaon kokonaiskulutuksesta mittaus antoi mielestäni suuntaa-antavan lopputuloksen. Lannanpoiston hydraulimoottoreiden yhteinen energiankulutus laskettiin yhden moottorin kahden kuukauden lukemien perusteella. Vaijerivetoisesta lannanpoistokoneesta saimme jatkuvan mittauksen kahden kuukauden ajalta. Mittauksen typistyminen kahteen kuukauteen aiheuttaa epävarmuutta koko vuoden

mittaustuloksissa. Vaijerivetoisen lannanpoiston suuren energiankulutuksen syy jäi epäselväksi. Ilmanvaihdon osalta sain kahden kuukauden tuloksen, jonka avulla laskin koko vuoden kulutuksen. Mittaus oli onnistunut, mutta lyhyt mittausjakso aiheuttaa epävarmuutta talven osalta. Valaistus mitattiin myös kahden kuukauden ajalta. Ilmanvaihdossa lyhyt mittausjakso aiheuttaa epävarmuutta koko vuoden mittaustuloksiin. Lypsytahtuman energianmittaus toteutui koko vuoden osalta. Ainoa poikkeus oli lypsyrobotin kompressorin kolmen päivän mittaus. Kompressorin energiankulutus lisäsi lypsyrobotin energiankulutusta noin 10 %. Lämmityksen energiankulutuksen mittaus toteutui suunnitelmieni mukaan. Tulos oli mielestäni luotettava.

Toinen tavoite oli selvittää ilmanvaihdon kautta poistuvan energian määrä. Ilmanvaihdon kautta poistuva energia vaati paljon laskuja, mutta lopputulos oli mielestäni luotettava. Hiilidioksidimäärien perusteella laskettavasta ilmanvaihdon määrästä luovuin, mutta lämpö- sekä vesimäärän perusteella laskettu tulos vastaa tutkimukseni tavoitteita.

Kolmas tavoite oli selvittää energiankulutuksen säästämisen mahdollisuuksia Viikin navetassa. Jos lähestyy asiaa suurinta kuluttajaa etsien, jolloin voi pienellä prosentuaalisella säästöllä saavuttaa määrällisesti suuren kulutuksen vähennyksen, tulee kyseeseen valaistus ja ilmanvaihdon kautta poistuva lämpö. Valaistuksen 20 % vähennyksellä saataisiin noin 11000 kWh säästö, mikä vastaa melkein koko ilmastoinnin energiankulutusta. Ilmanvaihdon kautta poistuvan lämpöenergian määrä on niin suuri, että jos siitä saataisiin talteen 10 %, ei navettaa tarvitsisi lämmittää lainkaan. Näiden laskelmien mukaan 10 % ilmanvaihdon kautta poistuvasta lämpöenergiasta on pienemmän lukeman mukaan 58000 kWh. Tämä luku on reilusti enemmän kuin lämmitykseen käytetty energia. Lämmitysenergia on hyvä säästökohde, koska silloin ei tarvitse muuntaa poistuvasta lämpöenergiasta energiaa toiseen muotoon. Lämmön muuntaminen esimerkiksi sähköksi, jota käytetään navetan koneissa, vaatii monimutkaisempaa tekniikkaa kuin mitä lämmönvaihdin edustaa. Navetan ilmassa on kosteutta, ammoniakkia, pölyä ja muita aineita, jotka asettavat myös lämmönvaihtimelle erityisvaatimuksia. Potentiaalia merkittävään lämpöenergian säästöön tässä kuitenkin olisi. Maitotankin käyttämä energia vapautuu suurelta osin lämpönä. Tämän lämmön talteen ottaminen saisi aikaan tuhansien kilowattituntien energiansäästön vuodessa. Viikissä on kaukolämpö ja

rakennuksissa vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Ylimääräisen lämmön voisi ajatella toimivan lisälämpönä kaukolämmön sivussa, jolloin kaukolämmön kulutus rakennuksissa pienenesi. Sähkömootoreiden ja polttomootorilla toimivien koneiden energian säästö vaatii käyttöajan lyhennystä ja käytön tehostamista. Siihen pystyvät vaikuttamaan koneiden käyttäjät. Polttoaineeseen meni noin 21000 kWh. Noin 10 % koneiden energiankäyttöhyötysuhdetta parantamalla saataisiin aikaan 2000 kWh energiansäästö.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Viikin tutkimusnavetan energiankäyttöä mittauksin. Navetan kokonaisenergian mittausta oli vaikeaa, koska navetan varsinainen sähkökeskus RK 4 antoi niin suuren lukeman, että se ei ollut mahdollista, vaikka sulaketaulun kaikkien sulakkeiden läpi olisi kulkenut virta maksimiteholla. Vaikka kokonaisvirran mittauksesta luovuttiin, sain yksittäisistä kuluttajista varsin kattavan mittaustuloksen. Navetta on osa yliopiston koetilaa, minkä vuoksi tulokset eivät ole suoraan verrattavissa samankokoisiin navetoihin muualla Suomessa. Tutkimukseni heikkoutena pidän vajavaista mittausten määrää osassa kohteista. Tämä aiheutti epätarkkuutta koko vuoden energianmittaukseen. Osittain mitattuja ovat valaistus, ilmanvaihto, lannanpoisto ja rehunjako. Uskon kuitenkin kartoittaneeni navetan suurimmat energiankuluttajat.

Lannanpoiston vaijerikoneen suuren energiankulutuksen syy jäi selvittämättä. Valaistuksen suuri energiankulutus oli yllätys. Navetta on korkea ja siellä tarvitaan ilmeisesti normaalia navettaa parempi valaistus tutkimustöiden vuoksi, mikä voi selittää suuren energiankulutuksen. Kurottajan ja traktorin yhteinen energiankulutus oli lähes puolet rehunjaon energiankulutuksesta. Tämä puoltaa otaksumaa, että polttomootorit eivät ole yhtä tehokkaita kuin sähkömootorit. Kurottajaa käytetään navetassa jonkin verran muuhunkin kuin rehunjakoon, joten rehunjaon kokonaiskulutus on vähän yläkanttiin.

Navetassa mitattujen laitteiden yhteiskulutus oli suurempi kuin sen laskennallisesti pitäisi olla, minkä selittää osittain navetan erityinen käyttötarkoitus tutkimusnavettana. Mietityt säästötoimenpiteiden kohteet ovat kuitenkin varteenotettavia vaihtoehtoja myös tässä navetassa. Valaistus ja lämmitys kuluttavat paljon energiaa, joten näissä voi pienellä kulutuksen vähennyksellä saada aikaan merkittäviä säästöjä. Sähkömootoreiden kokonaisenergian kulutuksen

vähentäminen vaatii työntekijöiden perehtymistä koneiden tehokkaaseen käyttöön. Koska yhteinen sähköenergian kulutus on varsin suuri, voi käyttötapojen tehostamisella saada aikaan merkittäviä säästöjä. Ilmanvaihdon kautta poistuvan energian määrä yllätti minut, vaikka tiesinkin poistuvan energian määrän olevan varsin suuri. Toisaalta tämä on merkittävä energiansäästöpotentiaali, mikäli teknisiin vaikeuksiin ja rahoitukseen saadaan ratkaisu.

7 KIITOKSET

Haluan kiittää teknikko **Marko Kajoskiveä**, joka jaksoi auttaa mittareiden asentamisessa ja kokoamisessa. Työ ei olisi valmistunut ilman kärsivällistä ohjaajaa (korjaajaa) **Mari Rajaniemeä**, sekä professori **Jukka Ahokasta**. Heille kuuluu suuri kiitos työn valmistumisesta. Koska maisteriksi ei valmistuta ilman kandidaatin tutkintoa, halua tässä yhteydessä kiittää **Hanna-Riitta Kymäläistä** erittäin suureesta avusta kandidaatin tutkinnon kirjallisen osion ymmärrettävään muotoon saattamisessa. Koko **laitoksen henkilökunta** on vastannut kärsivällisesti kaikkiin mahdollisiin ja mahdottomiin kysymyksiin, joten haluan antaa kiitoksen heille sekä **navetan henkilökunnalle** joustavan työilmapiirin luomisesta.

8 LÄHTEET

Ahokas, J. & Hautala, M., 2011. Agroteknologian perusteita. Helsinki. Helsingin Yliopisto. Maataloustieteiden laitos. 31s.

Ahokas, J., Mikkola, H., Schäfer W. 2012. Energy analysis in ENPOS project. Helsinki. University of Helsinki. Department of Agricultural Sciences – Agrotechnology, MTT Agrifood Research Finland. 28s.

Grönroos J. and Voutilainen P., 2001. Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö. Inventaarioanalyysin tulokset. Suomen ympäristökeskuksen moniste 231, 2001. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=15182>

Hörndahl, T. 2007. Energy Use in Farm Buildings. Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science. 63s. <http://pub.epsilon.slu.se/3396/1/Eng-rapport145-v1.pdf>

Kirkkari, A-M., Lehtinen J. 2005. Energiankäyttö maito-, nauta- ja sikatiloilla. Työtehoseuran tiedote 12/2005. Suomen työtehoseura.3s.

Lamminen, E. 2012. Polttoaineen kulutus Viikin navetassa 2012. Viikin tutkimustila.

Maatilojen energian käyttö.2009.TTS

http://www.energiatohokkuussopimukset.fi/midcom-serveattachmentguid-1dffdccfe90cccfdcf11dfb9f59142207093af93af/maatilojen_energiankaytto_17112009-pdf--tts_tutkimus_vitattu_7.02._2012

Mannfors,B. & Hautala,M. 2011. Eläinten hyvinvointiin perustuva tuotantoeläinten mikroilmasto:Imanvaihtoon ja lämpötilaan liittyvät suositukset. Helsinki. Maataloustieteiden laitos Julkaisuja 6. Maataloustieteiden laitos. Helsingin Yliopisto. 102s.

Maito- ja maitotuotetilasto 2012. Maataloustilastot Matilda.

http://www.maataloustilastot.fi/yli-sadan-lypsylehm%C3%A4n-tiloja-reilut-200_fi

MMM 2012. Maa- ja metsätalousministeriön asetus 8/2012

tuettavaa rakentamista koskevista lypsykarjarakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista. <http://www.finlex.fi/fi/laki/kokoelma/2012/20120008.pdf>

Nilsson. S., Pålshörp. S. 1985. Energiförbrukning i Jordbrukets driftsbyggnader. Inst f LBT Specialmeddelande 141. SLU. LUND.

Posio M. 2010. Kotieläntöjen energiankulutus. Helsinki. Maataloustieteiden laitos 2010. Helsingin Yliopisto. 96s.

Rasmussen J. & Pedersen J., 2004. Electricity and Water consumption at milking. Danmark .Farmtest-Cattle nr. 17.2004. 40s.
http://www.landbrugsinfo.dk/Tvaerfaglige-emner/FarmTest/Sider/ft_kva_017_electricity_water.pdf?List={72ba7c08-a1c5-4ec4-9909-d9af79085f73}&download=true

Suomi, J. 2012. ProTuotos VUOSIRAPORTTI 2011
07.06.2012 . Yhteenveto.

Sähkövertailu.fi.2012. (Lainattu 11.07.2012)
<http://www.sahkovertailu.fi/sahkosopimus/hinta/5784>

Vattenfall. 2012. Lainattu 17.07.2012
<http://www.vattenfall.fi/fi/omakotitalo.htm>

Virtanen, H., Thun, 2005. Esiselvitys suomalaisesta maatalojen energiankäytöstä. MTT.Ympäristöntutkimus.
http://www.motiva.fi/files/2382/Esiselvitys_Energiank_ytt_sek_uusiutuvien_energiamuotojen_hy_dynt_mispotentiaali_suomalaisilla_maatiloilla_15082005.pdf

9 LIITTEET

Liite1. Navetan sähkölaitteiden nimellistehoja (Vuorentola 2012)

Toiminto	Laite	Nimellisteho	
Rehunjako	Apesekoitin (Pellon CutMix)	30 kW	
	täyttöpöytä (Pellon)	3,5 kW	
	Mattokuljetin (Pellon)	1,8 kW	
	Rehunjakovaunu (Pellon TMR-sukkulaM2)	1 kW	
	Ruuvikuljetin	1,5 kW	
	Ruuvikuljetin	1,5 kW	
	Ruokinta-automaatti (Lely Cosmix)	1 kW	
Lannanpoisto	Leveät raapat (Ydre-Garden)	0,8 kW	
	Hydraulimoottori 1 (Pellon Paskerville)	4 kW	
	Hydraulimoottori 2 (Pellon Paskerville)	4 kW	
Lypsy	Lypsyrobotti (Lely Astronaut)	7 kW	
			sisältyy robotin tehoon
	josta Veden lämmitys	3,5 kW	
	Kompressori lypsyrobotille (Atlas Copco)	3,7 kW	
	Maitotankki (Wedholms 5000 litraa)	4,3 kW	
	josta kompressori	3,8 kW	sisältyy maitotankin tehoon
	Lypsykone kompressori (atlas copco)	3,7 kW	
	Lypsykoneen alipainepumppu	2,5 kW	
	Lypsykoneen alipainepumppu	1,8 kW	
	Putkilypsykoneen pesuri (DeLaval)	13 kW	
Veden lämmitys	lämminvestivaraaja (Jäspi 200 l)	3 kW	
Vasikat	Juottoautomaatti 1 (Lely Calm)	5 kW	
	Juottoautomaatti 2 (Lely Calm)	5 kW	
Ilmanvaihto	puhallin1	0,3 kW	
	puhallin2	0,3 kW	
	puhallin3	0,3 kW	
	puhallin4	0,3 kW	
	puhallin5	0,3 kW	
	puhallin6	0,15 kW	
Valaistus			
Loisteputki 58 W	Navetta 66 kpl + yövalot 9 kpl	8,7 kW	
	Vasikat 8 kpl + yövalot 1 kpl	0,918 kW	

Liite 2. Absoluuttisen kosteuden funktio exelin visual Basiciin (Ahokas 2010)

Function abskost(p, RH, T)

'p=ilmanpaine pascal

'RH=suht. kost

'T= lämpötila C

T = T + 273

pkas = (Exp(77.345 + 0.0057 * T - (7235 / T))) / T ^ 8.2

Painev = pkas * (RH / 100)

abskost = Painev / (1.605 * (p - Painev))

End Function